

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-039557

(43)Date of publication of application : 08.02.2000

(51)Int.Cl.

G02B 13/24

B23K 26/06

G03F 7/20

H01L 21/027

(21)Application number : 11-141607

(71)Applicant : NIKON CORP

(22)Date of filing : 21.05.1999

(72)Inventor : KUMAZAWA MASAHIITO

(30)Priority

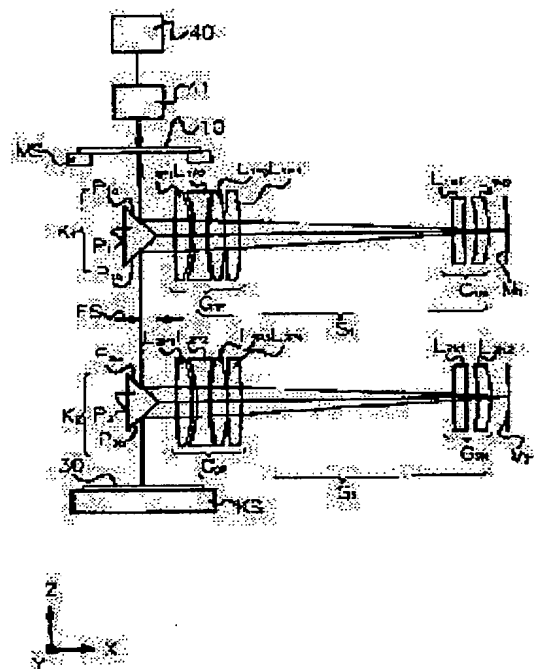
Priority number : 10140285 Priority date : 21.05.1999 Priority country : JP

(54) PROJECTION OPTICAL SYSTEM, PROJECTION OPTICAL DEVICE, SCANNING EXPOSURE DEVICE, OPTICAL PROCESSING METHOD AND EXPOSURE METHOD

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To attain excellent optical performance with simple constitution and to obtain high throughput.

SOLUTION: A projection optical system projecting an image of a first object 10 onto a second object 30 at a substantially size-for-size magnification is provided with a positive lens group G1P having positive refractive force, a negative lens group G1N having negative refractive force and a concave reflection mirror M1. The positive lens group, the negative lens group and the concave reflection mirror are positioned so that a beam from the first object 10 arrives at the concave reflection mirror through successively the positive lens group and the negative lens group, and the beam reflected by the concave reflection mirror goes to the second object through successively the negative lens group and the positive lens group, and the first and second object sides become telecentric. At this time, the positive lens group contains at least the lens consisting of fluorite and having the positive refractive force, and the lens consisting of synthetic quartz and having the negative force, and the negative lens group contains the lens consisting of fluorite and having the negative force.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Date of requesting appeal against examiner's  
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2000 Japanese Patent Office

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

識別記号

F I

テマコード(参考)

G 0 2 B 13/24

G 0 2 B 13/24

B 2 3 K 26/06

B 2 3 K 26/06

E

G 0 3 F 7/20

5 0 1

G 0 3 F 7/20

5 0 1

H 0 1 L 21/027

H 0 1 L 21/30

5 1 5 D

審査請求 未請求 請求項の数18 O L (全 21 頁)

(21) 出願番号 特願平11-141607

(71) 出願人 000004112

(22) 出願日 平成11年5月21日 (1999. 5. 21)

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(31) 優先権主張番号 特願平10-140285

(72) 発明者 熊澤 雅人

(32) 優先日 平成10年5月21日 (1998. 5. 21)

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

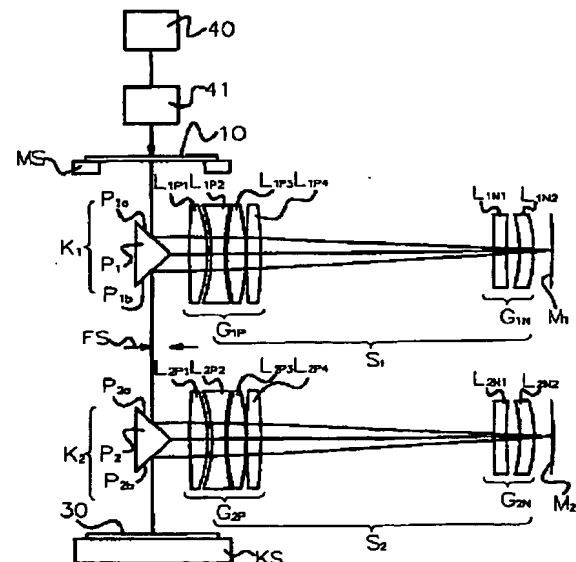
式会社ニコン内

(54) 【発明の名称】 投影光学系、投影光学装置、走査型露光装置、光加工方法および露光方法

(57) 【要約】

【課題】 簡素な構成で良好な光学性能を達成し、高スループットを得ること

【解決手段】 第1の物体(10)の像を第2の物体(30)上へ実質的に等倍の倍率で投影する投影光学系は、正の屈折力を有する正レンズ群( $G_{1P}$ )と、負の屈折力を有する負レンズ群( $G_{1N}$ )と、凹面反射鏡( $M_1$ )とを備える。正レンズ群、負レンズ群及び凹面反射鏡は、第1物体からの光が正レンズ群及び負レンズ群を順に経て凹面反射鏡に達し、凹面反射鏡にて反射された光が負レンズ群及び正レンズ群を順に経て第2物体へ向かうように、かつ第1及び第2物体側がテレセントリックとなるように位置決めされる。ここで、正レンズ群は、螢石からなり正の屈折力を有するレンズと、合成石英からなり負の屈折力を有するレンズとを少なくとも含み、負レンズ群は、螢石からなり負屈折力を有するレンズを含む。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】第 1 の物体の像を第 2 の物体上へ実質的に等倍の倍率で投影する投影光学系において、  
正の屈折力を有する正レンズ群と、負の屈折力を有する負レンズ群と、凹面反射鏡とを備え、

前記正レンズ群、前記負レンズ群及び前記凹面反射鏡は、前記第 1 物体からの光が前記正レンズ群及び前記負レンズ群を順に経て前記凹面反射鏡に達し、前記凹面反射鏡にて反射された光が前記負レンズ群及び前記正レンズ群を順に経て前記第 2 物体へ向かうように、かつ前記第 1 及び第 2 物体側がテレセントリックとなるように位置決めされ、

前記正レンズ群は、螢石からなり正の屈折力を有するレンズと、合成石英からなり負の屈折力を有するレンズとを少なくとも含み、

前記負レンズ群は、螢石からなり負屈折力を有するレンズを含むことを特徴とする投影光学系。

【請求項 2】前記負レンズ群は、凹面形状を有する第 1 凹屈折面と、該第 1 凹屈折面側に凹面を向けた形状の第 2 凹屈折面を有することを特徴とする請求項 1 記載の投影光学系。

【請求項 3】前記負レンズ群は、前記第 1 凹屈折面を有しかつ負の屈折力を有する第 1 負レンズと、該第 1 負レンズと前記凹面反射鏡との間に配置されて前記第 2 凹屈折面を有する第 1 メニスカスレンズとを備えることを特徴とする請求項 2 記載の投影光学系。

【請求項 4】第 1 の物体の像を第 2 の物体上へ実質的に等倍の倍率で投影する投影光学系において、  
正の屈折力を有する第 1 正レンズ群と、負の屈折力を有する第 1 負レンズ群と、第 1 凹面反射鏡とを備える第 1 結像光学系と、

正の屈折力を有する第 2 正レンズ群と、負の屈折力を有する第 2 負レンズ群と、第 2 凹面反射鏡とを備える第 2 結像光学系とを備え、

前記第 1 及び第 2 結像光学系は、前記第 1 物体からの光が前記第 1 正レンズ群及び前記第 1 負レンズ群を順に経て前記第 1 凹面反射鏡に達し、前記第 1 凹面反射鏡にて反射された光が前記第 1 負レンズ群及び第 1 正レンズ群を順に経て 1 次像を形成し、該 1 次像からの光が前記第 2 正レンズ群及び前記第 2 負レンズ群を順に経て前記第 2 凹面反射鏡に達し、前記第 2 凹面反射鏡にて反射された光が前記第 2 負レンズ群及び第 2 正レンズ群を順に経て前記第 2 物体上に 2 次像を形成するように、かつ前記第 1 及び第 2 物体側がテレセントリックとなるように位置決めされ、

前記第 1 及び第 2 正レンズ群は、螢石からなり正の屈折力を有するレンズと、合成石英からなり負の屈折力を有するレンズとを少なくとも含み、

前記第 1 及び第 2 負レンズ群は、螢石からなり負屈折力を有するレンズを含むことを特徴とする投影光学系。

【請求項 5】広帯域の紫外レーザ光を供給するレーザ光源と、

該レーザ光源からの光を前記第 1 物体上の所定の領域へ導く照明光学系と、

請求項 1 乃至 4 の何れか一項記載の投影光学系とを備え、

該投影光学系により前記第 1 物体上の前記所定の領域内の像を前記第 2 物体上へ形成することを特徴とする投影光学装置。

【請求項 6】広帯域の紫外レーザ光を前記第 1 物体上の所定の領域へ導く照明工程と、

請求項 1 乃至 4 の何れか一項記載の投影光学系とを用いて前記第 1 物体上の前記所定の領域内の像を前記第 2 物体上へ形成する投影工程とを有することを光加工方法。

【請求項 7】所定波長を含む光束を用いて前記第 1 の物体の像を第 2 の物体上へ実質的に等倍の倍率のもとで投影する投影光学系において、

正の屈折力を有する正レンズ群と、負の屈折力を有する負レンズ群と、凹面反射鏡とを備え、

前記正レンズ群、前記負レンズ群及び前記凹面反射鏡は、前記第 1 物体からの光が前記正レンズ群及び前記負レンズ群を順に経て前記凹面反射鏡に達し、前記凹面反射鏡にて反射された光が前記負レンズ群及び前記正レンズ群を順に経て前記第 2 物体へ向かうように配置され、  
前記負レンズ群は、第 1 凹面形状の屈折力面を有する負レンズと、該負レンズと前記凹面反射鏡との間に配置されて第 2 凹面形状の屈折力面を有するメニスカスレンズとを少なくとも含み、

前記正レンズ群と前記負レンズ群との間に形成される空間の光軸に沿った距離を  $D$  とし、前記負レンズ群における前記負レンズと前記メニスカスレンズとの間に形成される空間の光軸に沿った距離を  $L$  とするとき、以下の関係を満足することを特徴とする投影光学系。

$$0.01 < L/D < 0.5$$

【請求項 8】前記正レンズ群は、前記第 1 物体側から順に、正の屈折力を有する第 1 の正レンズと、負の屈折力を有する第 1 の負レンズと、正の屈折力を有する第 2 の正レンズとを少なくとも有し、

前記光束は、所定の第 1 波長  $\lambda_1$  と、前記第 1 波長  $\lambda_1$  よりも短い第 2 波長  $\lambda_2$  と、前記第 2 波長  $\lambda_2$  よりも短い第 3 波長  $\lambda_3$  とを有し、

前記正レンズ群中の前記第 1 の負レンズの第 1 波長  $\lambda_1$  に対する屈折率を  $n_{n1}(\lambda_1)$ 、前記正レンズ群中の前記第 1 の負レンズの第 2 波長  $\lambda_2$  に対する屈折率を  $n_{n1}(\lambda_2)$ 、前記正レンズ群中の前記第 1 の負レンズの第 3 波長  $\lambda_3$  に対する屈折率を  $n_{n1}(\lambda_3)$ 、前記負レンズ群中の前記負レンズの第 1 波長  $\lambda_1$  に対する屈折率を  $n_{n2}(\lambda_1)$ 、前記負レンズ群中の前記負レンズの第 2 波長  $\lambda_2$  に対する屈折率を  $n_{n2}(\lambda_2)$ 、前記負レンズ群中の前記負レンズの第 3 波長  $\lambda_3$  に対する屈折率を  $n_{n2}(\lambda_3)$  とする。

■  $(\lambda_3)$  とするとき、以下の関係を満足することを特徴とする請求項 7 に記載の投影光学系。

$$v_n = (n_n(\lambda_2) - 1) / (n_n(\lambda_3) - n_n(\lambda_1))$$

$$v_n = (n_n(\lambda_2) - 1) / (n_n(\lambda_3) - n_n(\lambda_1))$$

$$v_n - v_n > 0$$

【請求項 9】前記光束は、所定の第 1 波長  $\lambda_1$  と、前記第 1 波長  $\lambda_1$  よりも短い第 2 波長  $\lambda_2$  と、前記第 2 波長  $\lambda_2$  よりも短い第 3 波長  $\lambda_3$  とを有し、  
前記第 1 波長  $\lambda_1$  に対する前記正レンズ群のペッツバル和を  $PS_p(\lambda_1)$  とし、前記第 2 波長  $\lambda_2$  に対する前記正レンズ群のペッツバル和を  $PS_p(\lambda_2)$ 、前記第 3 波長  $\lambda_3$  に対する前記正レンズ群のペッツバル和を  $PS_p(\lambda_3)$  とするとき、以下の関係を満足することを特徴とする請求項 7 又は請求項 8 に記載の投影光学系。

$$0 < PS_p(\lambda_2) - PS_p(\lambda_1) < 0.00001$$

$$0 < PS_p(\lambda_3) - PS_p(\lambda_1) < 0.00001$$

【請求項 10】前記光束は、所定の第 1 波長  $\lambda_1$  と、前記第 1 波長  $\lambda_1$  よりも短い第 2 波長  $\lambda_2$  と、前記第 2 波長  $\lambda_2$  よりも短い第 3 波長  $\lambda_3$  とを有し、  
前記第 1 波長  $\lambda_1$  に対する前記負レンズ群のペッツバル和を  $PS_N(\lambda_1)$  とし、前記第 2 波長  $\lambda_2$  に対する前記負レンズ群のペッツバル和を  $PS_N(\lambda_2)$ 、前記第 3 波長  $\lambda_3$  に対する前記負レンズ群のペッツバル和を  $PS_N(\lambda_3)$  とするとき、以下の関係を満足することを特徴とする請求項 7 乃至請求項 9 の何れか一項に記載の投影光学系。

$$0 < PS_N(\lambda_1) - PS_N(\lambda_2) < 0.00001$$

$$0 < PS_N(\lambda_1) - PS_N(\lambda_3) < 0.00001$$

【請求項 11】前記光束として広帯域の紫外レーザ光を前記第 1 物体上の所定の領域へ導く照明工程と、  
請求項 7 に記載の投影光学系を用いて前記第 1 物体上の前記所定の領域内の像を前記第 2 物体上へ形成する投影工程を含むことを光加工方法。

【請求項 12】前記光束を前記第 1 物体としてのマスクへ導く照明工程と、  
請求項 8 乃至請求項 10 の何れか一項に記載の投影光学系を用いて前記マスクのパターン像を前記第 2 物体としての感光性基板へ形成する投影工程とを含むことを露光方法。

【請求項 13】前記光束を前記第 1 物体としてのマスクへ導く照明光学系と、請求項 8 乃至請求項 10 の何れか一項記載の投影光学系とを備え、  
該投影光学系により前記マスクのパターン像を前記第 2 物体としての感光性基板へ形成することを特徴とする投影光学装置。

【請求項 14】所定のパターンが形成されたマスクを照明する照明光学系と、実質的に等倍の倍率のもとで前記

マスクパターンの像を感光性基板に投影する投影光学系とを備え、前記投影光学系に対して前記マスクと前記感光性基板とを相対的に移動させることにより前記マスクのパターンを前記感光性基板に露光する走査型露光装置において、

前記投影光学系は、前記第 1 の物体からの光を集光して 1 次像を形成する第 1 反射屈折光学系と、前記 1 次像からの光を集光して 2 次像を形成する第 2 反射屈折光学系とを含み、

前記第 1 反射屈折光学系は、正の屈折力を有する第 1 の正レンズ群と、負の屈折力を有する第 1 の負レンズ群と、第 1 の凹面反射鏡とを含み、

前記第 1 の正レンズ群、前記第 1 の負レンズ群及び前記第 1 の凹面反射鏡は、前記マスクからの光が前記第 1 の正レンズ群及び前記第 1 の負レンズ群を順に経て第 1 の凹面反射鏡に達し、前記第 1 の凹面反射鏡にて反射された光が前記第 1 の負レンズ群及び前記第 1 の正レンズ群を順に経て前記 1 次像を形成するようにそれぞれ配置され、

前記第 2 反射屈折光学系は、正の屈折力を有する第 2 の正レンズ群と、負の屈折力を有する第 2 の負レンズ群と、第 2 の凹面反射鏡とを含み、

前記第 2 の正レンズ群、前記第 2 の負レンズ群及び前記第 2 の凹面反射鏡は、前記 1 次像からの光が前記第 2 の正レンズ群及び前記第 2 の負レンズ群を順に経て第 2 の凹面反射鏡に達し、前記第 2 の凹面反射鏡にて反射された光が前記第 2 の負レンズ群及び前記第 2 の正レンズ群を順に経て前記 2 次像を形成するようにそれぞれ配置され、

前記第 1 の負レンズ群は、負の屈折力を有する第 1 のメニスカスレンズと、前記第 1 メニスカスレンズと前記第 1 の凹面反射鏡との間に配置された第 2 のメニスカスレンズとを有し、

前記第 2 の負レンズ群は、負の屈折力を有する第 3 のメニスカスレンズと、前記第 3 メニスカスレンズと前記第 2 の凹面反射鏡との間に配置された第 4 のメニスカスレンズとを有し、

前記第 1 の正レンズ群と前記第 1 の負レンズ群との間に形成される空間の光軸に沿った距離を  $D_1$  とし、前記第 2 の正レンズ群と前記第 2 の負レンズ群との間に形成される空間の光軸に沿った距離を  $D_2$ 、前記第 1 メニスカスレンズと第 2 メニスカスレンズとの間に形成される空間の光軸に沿った距離を  $L_1$ 、前記第 3 メニスカスレンズと第 4 メニスカスレンズとの間に形成される空間の光軸に沿った距離を  $L_2$  とするとき、以下の関係を満足することを特徴とする走査型露光装置。

$$0.01 < L_1 / D_1 < 0.5$$

$$0.01 < L_2 / D_2 < 0.5$$

【請求項 15】前記第 1 の正レンズ群は、前記マスク側から順に、正の屈折力を有する第 1 の正レンズと、負の

屈折力を有する第1の負レンズと、正の屈折力を有する第2の正レンズとを少なくとも有し、

前記第2の正レンズ群は、前記1次像側から順に、正の屈折力を有する第3の正レンズと、負の屈折力を有する第2の負レンズと、正の屈折力を有する第4の正レンズとを少なくとも有し、

前記光は、所定の第1波長 $\lambda_1$ と、前記第1波長 $\lambda_1$ よりも短い第2波長 $\lambda_2$ と、前記第2波長 $\lambda_2$ よりも短い第3波長 $\lambda_3$ とを有し、

前記第1の正レンズ群中の前記第1の負レンズの第1波長 $\lambda_1$ に対する屈折率を $n_{n1}(\lambda_1)$ 、前記第1の正レンズ群中の前記第1の負レンズの第2波長 $\lambda_2$ に対する屈折率を $n_{n1}(\lambda_2)$ 、前記第1の正レンズ群中の前記第1の負レンズの第3波長 $\lambda_3$ に対する屈折率を $n_{n1}(\lambda_3)$ 、前記第1の負レンズ群中の前記第1メニスカスレンズの第1波長 $\lambda_1$ に対する屈折率を $n_{m1}(\lambda_1)$ 、前記第1の負レンズ群中の前記第1メニスカスレンズの第2波長 $\lambda_2$ に対する屈折率を $n_{m1}(\lambda_2)$ 、前記第1の負レンズ群中の前記第1メニスカスレンズの第3波長 $\lambda_3$ に対する屈折率を $n_{m1}(\lambda_3)$ 、前記第2の正レンズ群中の前記第2の負レンズの第1波長 $\lambda_1$ に対する屈折率を $n_{n2}(\lambda_1)$ 、前記第2の正レンズ群中の前記第2の負レンズの第2波長 $\lambda_2$ に対する屈折率を $n_{n2}(\lambda_2)$ 、前記第2の正レンズ群中の前記第2の負レンズの第3波長 $\lambda_3$ に対する屈折率を $n_{n2}(\lambda_3)$ 、前記第2の負レンズ群中の前記第3メニスカスレンズの第1波長 $\lambda_1$ に対する屈折率を $n_{m3}(\lambda_1)$ 、前記第2の負レンズ群中の前記第3メニスカスレンズの第2波長 $\lambda_2$ に対する屈折率を $n_{m3}(\lambda_2)$ 、前記第2の負レンズ群中の前記第3メニスカスレンズの第3波長 $\lambda_3$ に対する屈折率を $n_{m3}(\lambda_3)$ とすると、以下の関係を満足することを特徴とする請求項14に記載の走査型露光装置。

$$v_{n1} = (n_{n1}(\lambda_2) - 1) / (n_{n1}(\lambda_3) - n_{n1}(\lambda_1))$$

$$v_{m1} = (n_{m1}(\lambda_2) - 1) / (n_{m1}(\lambda_3) - n_{m1}(\lambda_1))$$

$$v_{n1} - v_{m1} > 0$$

$$v_{n2} = (n_{n2}(\lambda_2) - 1) / (n_{n2}(\lambda_3) - n_{n2}(\lambda_1))$$

$$v_{m3} = (n_{m3}(\lambda_2) - 1) / (n_{m3}(\lambda_3) - n_{m3}(\lambda_1))$$

$$v_{m3} - v_{n2} > 0$$

【請求項16】前記光は、所定の第1波長 $\lambda_1$ と、前記第1波長 $\lambda_1$ よりも短い第2波長 $\lambda_2$ と、前記第2波長 $\lambda_2$ よりも短い第3波長 $\lambda_3$ とを有し、

前記第1波長 $\lambda_1$ に対する前記第1の正レンズ群のベッツバール和を $PS_{p1}(\lambda_1)$ とし、前記第2波長 $\lambda_2$ に対する前記第1の正レンズ群のベッツバール和を $PS_{p1}(\lambda_2)$ 、前記第3波長 $\lambda_3$ に対する前記第1の正レン

ズ群のベッツバール和を $PS_{p1}(\lambda_3)$ 、前記第1波長 $\lambda_1$ に対する前記第2の正レンズ群のベッツバール和を $PS_{p2}(\lambda_1)$ とし、前記第2波長 $\lambda_2$ に対する前記第2の正レンズ群のベッツバール和を $PS_{p2}(\lambda_2)$ 、前記第3波長 $\lambda_3$ に対する前記第2の正レンズ群のベッツバール和を $PS_{p2}(\lambda_3)$ とすると、以下の関係を満足することを特徴とする請求項14又は請求項15に記載の走査型露光装置。

$$0 < PS_{p1}(\lambda_2) - PS_{p1}(\lambda_1) < 0.00001$$

$$0 < PS_{p1}(\lambda_3) - PS_{p1}(\lambda_1) < 0.00001$$

$$0 < PS_{p2}(\lambda_2) - PS_{p2}(\lambda_1) < 0.00001$$

$$0 < PS_{p2}(\lambda_3) - PS_{p2}(\lambda_1) < 0.00001$$

【請求項17】前記光は、所定の第1波長 $\lambda_1$ と、前記第1波長 $\lambda_1$ よりも短い第2波長 $\lambda_2$ と、前記第2波長 $\lambda_2$ よりも短い第3波長 $\lambda_3$ とを有し、

前記第1波長 $\lambda_1$ に対する前記第1の負レンズ群のベッツバール和を $PS_{n1}(\lambda_1)$ とし、前記第2波長 $\lambda_2$ に対する前記第1の負レンズ群のベッツバール和を $PS_{n1}(\lambda_2)$ 、前記第3波長 $\lambda_3$ に対する前記第1の負レンズ群のベッツバール和を $PS_{n1}(\lambda_3)$ 、前記第1波長 $\lambda_1$ に対する前記第2の負レンズ群のベッツバール和を $PS_{n2}(\lambda_1)$ とし、前記第2波長 $\lambda_2$ に対する前記第2の負レンズ群のベッツバール和を $PS_{n2}(\lambda_2)$ 、前記第3波長 $\lambda_3$ に対する前記第2の負レンズ群のベッツバール和を $PS_{n2}(\lambda_3)$ とすると、以下の関係を満足することを特徴とする請求項14乃至請求項16の何れか一項に記載の走査型露光装置。

$$0 < PS_{n1}(\lambda_1) - PS_{n1}(\lambda_2) < 0.00001$$

$$0 < PS_{n1}(\lambda_1) - PS_{n1}(\lambda_3) < 0.00001$$

$$0 < PS_{n2}(\lambda_1) - PS_{n2}(\lambda_2) < 0.00001$$

$$0 < PS_{n2}(\lambda_1) - PS_{n2}(\lambda_3) < 0.00001$$

【請求項18】請求項14乃至請求項17の何れか一項に記載の走査型露光装置を用いてデバイスを製造するための露光方法において、

前記照明光学系を用いて前記マスクを照明する照明工程と、

前記投影光学系を用いて前記マスクのパターン像を前記感光性基板へ形成する投影工程と、

前記投影光学系に対して前記マスクと前記感光性基板とを相対的に移動させる走査工程とを含むことを特徴とする露光方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、第1の物体（マスク、レチクル等）の像を第2の物体（基板等）上にほぼ等倍で形成するための反射屈折型の投影光学系に関する。また、本発明は、広帯域の紫外光に基づいて、感光材を塗布した基板上にマスクの像を形成する投影露光装置や、紫外光によるレーザアブレーション可能なポリマー樹脂上に紫外光を投射して加工を行うレーザ加工装置

などの、デバイス（半導体素子、撮像素子、液晶表示素子、薄膜磁気ヘッド等）製造に用いられる投影光学装置に関する。さらには、本発明は、上記デバイスを製造するための光加工方法、露光方法やデバイス製造方法にも関する。

#### 【0002】

【従来の技術】波長248、4nmの紫外光を発するKrFエキシマレーザを用いた露光装置用の等倍の投影光学系として、例えば米国特許第5,696,631号に開示されている。

#### 【0003】

【発明が解決しようとする課題】上述の米国特許第5,696,631号に開示された投影光学系は、屈折型光学系であるために、光学系を構成するレンズ部材が反射屈折型に比べて多くなるという問題点がある。また、レンズ部材が合成石英（Fused Silica）のみにより構成されているため、狭帯化されていないKrFエキシマレーザ（発振波長の半値幅が中心発振波長に対して1nm程度）を用いた光学装置に上述の投影光学系を用いたときには色収差が補正されていないため、良好な結像性能が得られないという問題点がある。このため、被露光体上での露光エネルギーを向上させるためにレーザ光源を広帯化する（狭帯化しない）ことができず、高スループットを得られない。

【0004】そこで、本発明は、比較的少ない光学部材でコンパクトに構成されているにもかかわらず、良好な光学性能（特に良好なる色収差補正）が達成された投影光学系を得ること、また簡素な構成でありながら、高スループットを達成できる投影光学装置、走査型露光装置を得ることを目的とする。さらに、本発明は、上記投影光学系、投影光学装置あるいは走査型露光装置等を用いて、良好なるデバイスを製造することができる光加工方法や露光方法を得ることも目的としている。

#### 【0005】

【課題を解決するための手段】上述の目的を達成するために、本発明の1つの態様にかかる投影光学系は、例えば図1に示す如く、第1の物体(10)の像を第2の物体(30)上へ実質的に等倍の倍率で投影する投影光学系であって、正の屈折力を有する正レンズ群( $G_{1P}$ )と、負の屈折力を有する負レンズ群( $G_{1N}$ )と、凹面反射鏡( $M_1$ )とを備え、前記正レンズ群、前記負レンズ群及び前記凹面反射鏡は、前記第1物体からの光が前記正レンズ群及び前記負レンズ群を順に経て前記凹面反射鏡に達し、前記凹面反射鏡にて反射された光が前記負レンズ群及び正レンズ群を順に経て前記第2物体へ向かうように、かつ前記第1及び第2物体側がテレセントリックとなるように位置決めされ、前記正レンズ群は、螢石からなり正の屈折力を有するレンズと、合成石英からなり負の屈折力を有するレンズとを少なくとも含み、前記負レンズ群は、螢石からなり負屈折力を有するレンズを含むものである。

【0006】本発明の好ましい態様によれば、前記負レンズ群( $G_{1N}$ )は、凹面形状を有する第1凹屈折面と、該第1凹屈折面側に凹面を向けた形状の第2凹屈折面を有するものである。この好ましい態様において、前記負レンズ群は、前記第1凹屈折面を有しかつ負の屈折力を有する第1負レンズ( $L_{1N1}$ )と、該第1負レンズと前記凹面反射鏡との間に配置されて前記第2凹屈折面を有する第1メニスカスレンズ( $L_{1N2}$ )とを備えることが好ましい。

【0007】また、本発明の1つの態様にかかる投影光学系において、前記第1物体からの光を前記正レンズ群へ導き、前記正レンズ群を介した前記凹面反射鏡からの光を前記第2物体側へ導くための光路偏向部材( $P_1$ )を有することが好ましい。

【0008】また、上述の目的を達成するために、本発明の別の態様にかかる投影光学系は、例えば図1に示す通り、第1の物体(10)の像を第2の物体(30)上へ実質的に等倍の倍率で投影する投影光学系であって、正の屈折力を有する第1正レンズ群( $G_{1P}$ )と、負の屈折力を有する第1負レンズ群( $G_{1N}$ )と、第1凹面反射鏡( $M_1$ )とを備える第1結像光学系( $S_1$ )と、正の屈折力を有する第2正レンズ群( $G_{2P}$ )と、負の屈折力を有する第2負レンズ群( $G_{2N}$ )と、第2凹面反射鏡( $M_2$ )とを備える第2結像光学系( $S_2$ )とを備え、前記第1及び第2結像光学系は、前記第1物体からの光が前記第1正レンズ群及び前記第1負レンズ群を順に経て前記第1凹面反射鏡に達し、前記第1凹面反射鏡にて反射された光が前記第1負レンズ群及び第1正レンズ群を順に経て1次像を形成し、該1次像からの光が前記第2正レンズ群及び前記第2負レンズ群を順に経て前記第2凹面反射鏡に達し、前記第2凹面反射鏡にて反射された光が前記第2負レンズ群及び第2正レンズ群を順に経て前記第2物体上に2次像を形成するように、かつ前記第1及び第2物体側がテレセントリックとなるように位置決めされ、前記第1及び第2正レンズ群は、螢石からなり正の屈折力を有するレンズと、合成石英からなり負の屈折力を有するレンズとを少なくとも含み、前記第1及び第2負レンズ群は、螢石からなり負屈折力を有するレンズを含むものである。

【0009】ここで、本発明の好ましい態様によれば、前記第1負レンズ群( $G_{1N}$ )は、凹面形状を有する第1凹屈折面と、該第1凹屈折面側に凹面を向けた形状の第2凹屈折面を有し、前記第2負レンズ群( $G_{2N}$ )は、凹面形状を有する第3凹屈折面と、該第3凹屈折面側に凹面を向けた形状の第4凹屈折面を有するものである。この好ましい態様において、前記第1負レンズ群は、前記第1凹屈折面を有しかつ負の屈折力を有する第1負レンズ( $L_{1N1}$ )と、該第1負レンズと前記第1凹面反射鏡との間に配置されて前記第2凹屈折面を有する第1メニスカスレンズ( $L_{1N2}$ )とを備え、前記第2負レンズ群は、前記第3

凹屈折面を有しかつ負の屈折力を有する第2負レンズ( $L_{2N1}$ )と、該第2負レンズと前記第2凹面反射鏡との間に配置されて前記第2凹屈折面を有する第2メニスカスレンズ( $L_{2N2}$ )とを備えることが好ましい。

【0010】また、本発明の別の態様にかかる投影光学系において、前記第1及び第2凹面反射鏡のうちの少なくとも一方の反射面に配置された開口絞りを有することが好ましい。また、本発明の別の態様にかかる投影光学系において、前記1次像の位置に配置された視野絞りを有することが好ましい。

【0011】また、本発明の別の態様にかかる投影光学系において、前記第1物体からの光を前記第1正レンズ群へ導き、前記第1正レンズ群を介した前記第1凹面反射鏡からの光を前記1次像へ導くための第1光路偏向部材( $P_1$ )と、前記1次像からの光を前記第2正レンズ群へ導き、前記第2正レンズ群を介した前記第2凹面反射鏡からの光を前記2次像へ導くための第2光路偏向部材( $P_2$ )とを有することが好ましい。

【0012】そして、本発明にかかる投影光学装置は、例えば図1に示す通り、広帯域の紫外レーザ光を供給するレーザ光源(40)と、該レーザ光源からの光を前記第1物体上の所定の領域へ導く照明光学系(41)と、上述の投影光学系とを備え、該投影光学系により前記第1物体上の前記所定の領域内の像を前記第2物体上へ形成するものである。

【0013】以上の各態様及び好ましい態様における投影光学系を用いれば、第2物体(被加工物)に対して光加工を行うことができる。この場合における光加工方法は、広帯域の紫外レーザ光を前記第1物体上の所定の領域へ導く照明工程と、前記投影光学系とを用いて前記第1物体上の前記所定の領域内の像を前記第2物体上へ形成する投影工程とを有することが好ましい。

【0014】ところで、本発明は、以上に記載した各態様に限ることなく、以下に示すような各種態様としても良い。上記の目的を達成するために、本発明のさらに別の態様にかかる投影光学系は、例えば、図1及び図11に示す如く、所定波長を含む光束を用いて前記第1の物体(10)の像を第2の物体(30)上へ実質的に等倍の倍率のもとで投影する投影光学系であって、正の屈折力を有する正レンズ群( $G_{1P}$ ,  $G_{2P}$ )と、負の屈折力を有する負レンズ群( $G_{1N}$ ,  $G_{2N}$ )と、凹面反射鏡( $M_1$ ,  $M_2$ )とを備え、前記正レンズ群、前記負レンズ群及び前記凹面反射鏡は、前記第1物体からの光が前記正レンズ群及び前記負レンズ群を順に経て前記凹面反射鏡に達し、前記凹面反射鏡にて反射された光が前記負レンズ群及び前記正レンズ群を順に経て前記第2物体へ向かうように配置され、前記負レンズ群( $G_{N1}$ ,  $G_{N2}$ )は、凹面形状の屈折力面を有する負レンズ( $L_{1N1}$ ,  $L_{2N1}$ )と、該負レンズ( $L_{1N1}$ ,  $L_{2N1}$ )と前記凹面反射鏡( $M_1$ ,  $M_2$ )との間に配置されたメニスカスレンズ( $L_{1N2}$ ,  $L_{2N2}$ )とを少なくとも含み、前記正レンズ群と

前記負レンズ群との間の光軸に沿った距離をDとし、前記第1メニスカスレンズと第2メニスカスレンズとの間の光軸に沿った距離をLとすると、以下の関係を満足するように構成したものである。

【0015】 $0.01 < L/D < 0.5$

この場合における好ましい態様にかかる投影光学系によれば、前記正レンズ群( $G_{1P}$ ,  $G_{2P}$ )は、図11に示す如く、前記第1物体側から順に、正の屈折力を有する第1の正レンズ( $L_{1P1}$ ,  $L_{2P1}$ )と、負の屈折力を有する第1の負レンズ( $L_{1P2}$ ,  $L_{2P2}$ )と、正の屈折力を有する第2の正レンズ( $L_{1P3}$ ,  $L_{2P3}$ )とを少なくとも有し、前記光束は、所定の第1波長(g線: 436nm)  $\lambda_1$ と、前記第1波長  $\lambda_1$ よりも短い第2波長(h線: 406nm)  $\lambda_2$ と、前記第2波長  $\lambda_2$ よりも短い第3波長(i線: 365nm)  $\lambda_3$ とを有し、前記正レンズ群中の前記第1の負レンズの第1波長  $\lambda_1$ に対する屈折率を  $n_{n1}(\lambda_1)$ 、前記正レンズ群中の前記第1の負レンズの第2波長  $\lambda_2$ に対する屈折率を  $n_{n1}(\lambda_2)$ 、前記正レンズ群中の前記第1の負レンズの第3波長  $\lambda_3$ に対する屈折率を  $n_{n1}(\lambda_3)$ 、前記負レンズ群中の前記負レンズの第1波長  $\lambda_1$ に対する屈折率を  $n_{n1}(\lambda_1)$ 、前記負レンズ群中の前記負レンズの第2波長  $\lambda_2$ に対する屈折率を  $n_{n1}(\lambda_2)$ 、前記負レンズ群中の前記負レンズの第3波長  $\lambda_3$ に対する屈折率を  $n_{n1}(\lambda_3)$ とすると、以下の関係を満足することが好ましい。

【0016】
$$v_n = (n_n(\lambda_2) - 1) / (n_n(\lambda_3) - n_n(\lambda_1))$$

$$v_n = (n_n(\lambda_2) - 1) / (n_n(\lambda_3) - n_n(\lambda_1))$$

$$v_{n1} - v_{n1} > 0$$

また、本発明の別の好ましい態様による投影光学系は、第1波長(g線: 436nm)  $\lambda_1$ に対する前記正レンズ群( $G_{1P}$ ,  $G_{2P}$ )のペッツバル和を  $PS_P(\lambda_1)$ とし、第2波長(h線: 406nm)  $\lambda_2$ に対する前記正レンズ群のペッツバル和を  $PS_P(\lambda_2)$ 、第3波長(i線: 365nm)  $\lambda_3$ に対する前記正レンズ群のペッツバル和を  $PS_P(\lambda_3)$ とすると、以下の関係を満足することが望ましい。

【0017】
$$0 < PS_P(\lambda_2) - PS_P(\lambda_1) < 0.00001$$

$$0 < PS_P(\lambda_3) - PS_P(\lambda_1) < 0.00001$$

また、本発明のさらに別の好ましい態様による投影光学系は、第1波長(g線: 436nm)  $\lambda_1$ に対する前記負レンズ群のペッツバル和を  $PS_N(\lambda_1)$ とし、第2波長(h線: 406nm)  $\lambda_2$ に対する前記負レンズ群のペッツバル和を  $PS_N(\lambda_2)$ 、第3波長(i線: 365nm)  $\lambda_3$ に対する前記負レンズ群のペッツバル和を  $PS_N(\lambda_3)$ とすると、以下の関係を満足することがより望ましい。



【0018】  $0 < PS_N(\lambda_1) - PS_N(\lambda_2) < 0.00001$

$0 < PS_N(\lambda_1) - PS_N(\lambda_3) < 0.00001$

そして、以上の各態様及び好ましい態様における投影光学系を用いれば、第2物体（被加工物）に対して光加工を行うことができる。この場合における光加工方法は、前記光束として広帯域の紫外レーザ光を前記第1物体上の所定の領域へ導く照明工程と、前記投影光学系を用いて前記第1物体上の前記所定の領域内の像を前記第2物体上へ形成する投影工程を含むことが望ましい。

【0019】また、以上の各態様及び好ましい態様における投影光学系を用いれば、第2物体（被加工物）に対して露光を行ってデバイスの製造することができる。この場合におけるデバイス製造方法は、前記光束を前記第1物体としてのマスクへ導く照明工程と、前記投影光学系とを用いて前記マスクのパターン像を前記第2物体としての感光性基板へ形成する投影工程とを含むことが好ましい。

【0020】また、以上の各態様及び好ましい態様における投影光学系と、前記光束を前記第1物体としてのマスクへ導く照明光学系とを露光装置に設ければ、該投影光学系により前記マスクのパターン像を前記第2物体としての感光性基板へ形成することができ、良好なるデバイスを製造することができる。さらに、上記の目的を達成するために、さらにまた別の態様にかかる走査型露光装置は、例えば図11に示す如く、所定のパターンが形成されたマスク(10)を照明する照明光学系(41)と、実質的に等倍の倍率のもとで前記マスクパターンの像を感光性基板(30)に投影する投影光学系とを備え、前記投影光学系に対して前記マスクと前記感光性基板とを相対的に移動させることにより前記マスクのパターンを前記感光性基板に露光するものであって、前記投影光学系は、前記第1の物体からの光を集光して1次像を形成する第1反射屈折光学系( $K_1$ )と、前記1次像からの光を集光して2次像を形成する第2反射屈折光学系( $K_2$ )とを含み、前記第1反射屈折光学系( $K_1$ )は、正の屈折力を有する第1の正レンズ群( $G_{1p}$ )と、負の屈折力を有する第1の負レンズ群( $G_{1n}$ )と、第1の凹面反射鏡( $M_1$ )とを含み、前記第1の正レンズ群、前記第1の負レンズ群及び前記第1の凹面反射鏡は、前記マスクからの光が前記第1の正レンズ群及び前記第1の負レンズ群を順に経て第1の凹面反射鏡に達し、前記第1の凹面反射鏡にて反射された光が前記第1の負レンズ群及び前記第1の正レンズ群を順に経て前記1次像を形成するようにそれぞれ配置され、前記第2反射屈折光学系( $K_2$ )は、正の屈折力を有する第2の正レンズ群( $G_{2p}$ )と、負の屈折力を有する第2の負レンズ群( $G_{2n}$ )と、第2の凹面反射鏡( $M_2$ )とを含み、前記第2の正レンズ群、前記第2の負レンズ群及び前記第2の凹面反射鏡は、前記1次像からの光が前記第2の正レンズ群及び前記第2の負レンズ群を順に経て第2の凹面

反射鏡に達し、前記第2の凹面反射鏡にて反射された光が前記第2の負レンズ群及び前記第2の正レンズ群を順に経て前記2次像を形成するようにそれぞれ配置され、前記第1の負レンズ群は、負の屈折力を有する第1のメニスカスレンズ( $L_{1n1}$ )と、前記第1のメニスカスレンズ( $L_{1n1}$ )と前記第1の凹面反射鏡( $M_1$ )の間に配置された第2のメニスカスレンズ( $L_{1n2}$ )とを有し、前記第2の負レンズ群は、負の屈折力を有する第3のメニスカスレンズ( $L_{2n1}$ )と、前記第3のメニスカスレンズ( $L_{2n1}$ )と前記第2の凹面反射鏡( $M_2$ )の間に配置された第4のメニスカスレンズ( $L_{2n2}$ )とを有し、前記第1の正レンズ群と前記第1の負レンズ群との間の光軸に沿った距離を $D_1$ とし、前記第2の正レンズ群と前記第2の負レンズ群との間の光軸に沿った距離を $D_2$ 、前記第1メニスカスレンズと第2メニスカスレンズとの間の光軸に沿った距離を $L_1$ 、前記第3メニスカスレンズと第4メニスカスレンズとの間の光軸に沿った距離を $L_2$ とするとき、以下の関係を満足するように構成したものである。

【0021】  $0.01 < L_1/D_1 < 0.5$

$0.01 < L_2/D_2 < 0.5$

この場合における好ましい態様にかかる走査型露光装置によれば、前記第1の正レンズ群は、前記マスク側から順に、正の屈折力を有する第1の正レンズと、負の屈折力を有する第1の負レンズと、正の屈折力を有する第2の正レンズとを少なくとも有し、前記第2の正レンズ群は、前記1次像側から順に、正の屈折力を有する第3の正レンズと、負の屈折力を有する第2の負レンズと、正の屈折力を有する第4の正レンズとを少なくとも有し、前記光は、所定の第1波長( $g$ 線: 436nm)  $\lambda_1$ と、前記第1波長 $\lambda_1$ よりも短い第2波長( $h$ 線: 406nm)  $\lambda_2$ と、前記第2波長 $\lambda_2$ よりも短い第3波長( $i$ 線: 365nm)  $\lambda_3$ とを有し、前記第1の正レンズ群中の前記第1の負レンズの第1波長 $\lambda_1$ に対する屈折率を $n_{n1}(\lambda_1)$ 、前記第1の正レンズ群中の前記第1の負レンズの第2波長 $\lambda_2$ に対する屈折率を $n_{n1}(\lambda_2)$ 、前記第1の正レンズ群中の前記第1の負レンズの第3波長 $\lambda_3$ に対する屈折率を $n_{n1}(\lambda_3)$ 、前記第1の負レンズ群中の前記第1メニスカスレンズの第1波長 $\lambda_1$ に対する屈折率を $n_{n1}(\lambda_1)$ 、前記第1の負レンズ群中の前記第1メニスカスレンズの第2波長 $\lambda_2$ に対する屈折率を $n_{n1}(\lambda_2)$ 、前記第2の負レンズ群中の前記第1メニスカスレンズの第3波長 $\lambda_3$ に対する屈折率を $n_{n1}(\lambda_3)$ 、前記第2の正レンズ群中の前記第2の負レンズの第1波長 $\lambda_1$ に対する屈折率を $n_{n2}(\lambda_1)$ 、前記第2の正レンズ群中の前記第2の負レンズの第2波長 $\lambda_2$ に対する屈折率を $n_{n2}(\lambda_2)$ 、前記第2の正レンズ群中の前記第2の負レンズの第3波長 $\lambda_3$ に対する屈折率を $n_{n2}(\lambda_3)$ 、前記第2の負レンズ群中の前記第3メニスカスレンズの第1波長 $\lambda_1$ に対する屈折率を $n_{n3}(\lambda_1)$ 、前記第1の負レンズ群中の前記第3メニ

カスレンズの第2波長 $\lambda_2$ に対する屈折率を $n_{m3}(\lambda_2)$ 、前記第2の負レンズ群中の前記第3メニスカスレンズの第3波長 $\lambda_3$ に対する屈折率を $n_{m3}(\lambda_3)$ とすると、以下の関係を満足することをより好ましい。

$$[0022] \quad v_{n1} = (n_{n1}(\lambda_2) - 1) / (n_{n1}(\lambda_3) - n_{n1}(\lambda_1))$$

$$v_{m1} = (n_{m1}(\lambda_2) - 1) / (n_{m1}(\lambda_3) - n_{m1}(\lambda_1))$$

$$v_{n1} - v_{m1} > 0$$

$$v_{n2} = (n_{n2}(\lambda_2) - 1) / (n_{n2}(\lambda_3) - n_{n2}(\lambda_1))$$

$$v_{m3} = (n_{m3}(\lambda_2) - 1) / (n_{m3}(\lambda_3) - n_{m3}(\lambda_1))$$

$$v_{m3} - v_{n2} > 0$$

また、別の好ましい態様かかる走査型露光装置によれば、第1波長(g線: 436nm)  $\lambda_1$ に対する前記第1の正レンズ群のベッツバル和を $PS_{p1}(\lambda_1)$ とし、第2波長(h線: 406nm)  $\lambda_2$ に対する前記第1の正レンズ群のベッツバル和を $PS_{p1}(\lambda_2)$ 、第3波長(i線: 365nm)  $\lambda_3$ に対する前記第1の正レンズ群のベッツバル和を $PS_{p1}(\lambda_3)$ 、前記第1波長 $\lambda_1$ に対する前記第2の正レンズ群のベッツバル和を $PS_{p2}(\lambda_1)$ とし、前記第2波長 $\lambda_2$ に対する前記第2の正レンズ群のベッツバル和を $PS_{p2}(\lambda_2)$ 、前記第3波長 $\lambda_3$ に対する前記第2の正レンズ群のベッツバル和を $PS_{p2}(\lambda_3)$ とすると、以下の関係を満足することが好ましい。

[0023]

$$0 < PS_{p1}(\lambda_2) - PS_{p1}(\lambda_1) < 0.00001$$

$$0 < PS_{p1}(\lambda_3) - PS_{p1}(\lambda_1) < 0.00001$$

$$0 < PS_{p2}(\lambda_2) - PS_{p2}(\lambda_1) < 0.00001$$

$$0 < PS_{p2}(\lambda_3) - PS_{p2}(\lambda_1) < 0.00001$$

また、さらに別の好ましい態様かかる走査型露光装置によれば、第1波長(g線: 436nm)  $\lambda_1$ に対する前記第1の負レンズ群のベッツバル和を $PS_{n1}(\lambda_1)$ とし、第2波長(h線: 406nm)  $\lambda_2$ に対する前記第1の負レンズ群のベッツバル和を $PS_{n1}(\lambda_2)$ 、第3波長(i線: 365nm)  $\lambda_3$ に対する前記第1の負レンズ群のベッツバル和を $PS_{n1}(\lambda_3)$ 、前記第1波長 $\lambda_1$ に対する前記第2の負レンズ群のベッツバル和を $PS_{n2}(\lambda_1)$ とし、前記第2波長 $\lambda_2$ に対する前記第2の負レンズ群のベッツバル和を $PS_{n2}(\lambda_2)$ 、前記第3波長 $\lambda_3$ に対する前記第2の負レンズ群のベッツバル和を $PS_{n2}(\lambda_3)$ とすると、以下の関係を満足することが望ましい。

$$[0024] \quad 0 < PS_{n1}(\lambda_1) - PS_{n1}(\lambda_2) < 0.00001$$

$$0 < PS_{n1}(\lambda_1) - PS_{n1}(\lambda_3) < 0.00001$$

1

$$0 < PS_{n2}(\lambda_1) - PS_{n2}(\lambda_2) < 0.00001$$

1

$$0 < PS_{n2}(\lambda_1) - PS_{n2}(\lambda_3) < 0.00001$$

1

また、以上の各態様及び好ましい態様における走査型露光装置を用いれば、感光性基板(第2物体)に対して露光を行って、良好なるデバイスの製造することができる。この場合におけるデバイスを製造する方法は、前記照明光学系を用いて前記マスクを照明する照明工程と、前記投影光学系を用いて前記マスクのパターン像を前記感光性基板へ形成する投影工程と、前記投影光学系に対して前記マスクと前記感光性基板とを相対的に移動させる走査工程とを含むことが好ましい。

[0025]

【発明の実施の形態】以上の如き本発明の1つの形態においては、例えば狭帯化されていないKrFエキシマレーザ(発振波長の半値幅が中心発振波長248.4nmに対して1nm程度)からの紫外光を前記第1の物体を照明する光源として用いた場合においても、正の屈折力を有する正レンズ群(第1及び第2正レンズ群)が、少なくとも1つ以上の正の屈折力を有する螢石からなるレンズと、負の屈折力を有する合成石英からなるレンズとを含むことにより、色収差の補正が可能となる。

【0026】また、負レンズ群(第1及び第2の負レンズ群)は、少なくとも1つ以上の負の屈折力を有する螢石からなるレンズを含むことにより、狭帯化されていないレーザからの紫外光の波長の違いに基づく像面湾曲量の発生量の違いを小さくすることが可能としている。なお、本発明においては、狭帯化されていないKrFエキシマレーザだけではなく、狭帯化されていないArFエキシマレーザなどのレーザ光源を適用できる。

【0027】さらに、正の屈折力を有する正レンズ群と負の屈折力を有する負レンズ群とからなる合成光学系の後側焦点位置近傍に凹面反射鏡を配置することにより、正レンズ群、負レンズ群及び凹面反射鏡からなる反射屈折型光学系を物体側と像側とにおいてテレセントリックな光学系とすることができる(第1正レンズ群と第1負レンズ群とからなる合成光学系の後側焦点位置近傍に第1凹面反射鏡を配置し、かつ第2正レンズ群と第2負レンズ群とからなる合成光学系の後側焦点位置近傍に第2凹面反射鏡を配置することにより、第1及び第2結像光学系を物体側と像側とにおいてテレセントリックな光学系とすることができる)。

【0028】また、負レンズ群(第1及び第2負レンズ群)中に、互いに凹面を向かい合わせてなる第1及び第2凹屈折面(第1乃至第4凹屈折面)を設けることにより、タンジェンシャル像面及びサジタル像面の平坦性を向上させることができる。そして、凹面反射鏡(第1及び第2の凹面反射鏡の少なくとも一方)の反射面に開口絞りを配置することにより、ウィグネッティング・フリ

一（あらゆる像高において口径食が無い状態）とすることが可能となる。また、この構成の場合、正レンズ群、負レンズ群及び凹面反射鏡からなる反射屈折型光学系の屈折力配置が凹面鏡に関して対称となるため、倍率色収差の発生を抑えることができ、正レンズ群及び負レンズ群では、実質的に軸上色収差のみを補正すれば良い。

【0029】また、本発明の別の形態としては、前述のように、狭帯化されていないK<sub>r</sub>Fエキシマレーザ（発振波長の半値幅が中心発振波長248.4nmに対して1nm程度）等からの紫外光を前記第1の物体を照明する光源として用いた場合、あるいはg線（436nm）、h線（406nm）及びi線（365nm）等を含む光を供給する光源部から光を第1物体を照明する光として用いた場合に、色収差の補正の可能として、スルーブットの向上を大幅に改善し得るようにしたものである。

【0030】すなわち、この形態においては、投影光学系中の負レンズ群（G<sub>1N</sub>、G<sub>2N</sub>）は、第1の凹面形状の屈折力面を有する負レンズ（第1メニスカスレンズL<sub>1N1</sub>又は第3メニスカスレンズL<sub>2N1</sub>）と第2の凹面形状の屈折力面を有するメニスカスレンズ（第2メニスカスレンズL<sub>1N2</sub>又は第4メニスカスレンズL<sub>2N2</sub>）を少なくとも有する構成とし、投影光学系中の正レンズ群

（G<sub>1P</sub>、G<sub>2P</sub>）と負レンズ群（G<sub>1N</sub>、G<sub>2N</sub>）との間に形成される空間（群間隔D：第1の正レンズ群G<sub>1P</sub>と第1の負レンズ群G<sub>1N</sub>との間に形成される空間の軸上距離D<sub>1</sub>又は第2の正レンズ群G<sub>2P</sub>と第2の負レンズ群G<sub>2N</sub>との間に形成される空間の軸上距離D<sub>2</sub>）に対して凹面状の屈折面を有する2つのレンズの間に形成される空間（レンズ間隔L：第1メニスカスレンズL<sub>1N1</sub>と第2メニスカスレンズL<sub>1N2</sub>との間に形成される空間の軸上距離L<sub>1</sub>又は第3メニスカスレンズL<sub>2N1</sub>と第4メニスカスレンズL<sub>2N2</sub>との間に形成される空間の軸上距離L<sub>2</sub>）を適切にすることによって、色収差の補正と光学系の小型化とを十分に両立させることができる。

【0031】具体的には、以下の（1）式、あるいは（2）式及び（3）式を満足することが望ましい。

【0032】

【数1】

$$(1) \quad 0.01 < L/D < 0.5$$

$$(2) \quad 0.01 < L_1/D_1 < 0.5$$

$$(3) \quad 0.01 < L_2/D_2 < 0.5$$

ここで、（1）式乃至（3）式の下限値を越えると、D（D<sub>1</sub>又はD<sub>2</sub>）の値が大きくなり、投影光学系中の反射屈折光学系（K<sub>1</sub>、K<sub>2</sub>）の物理的な寸法が大きくなる。この結果、装置自体の大型化を招くため好ましくない。

$$(4) \quad v_n = (n_n(\lambda_2) - 1) / (n_n(\lambda_3) - n_n(\lambda_1))$$

$$(5) \quad v_n = (n_n(\lambda_2) - 1) / (n_n(\lambda_3) - n_n(\lambda_1))$$

$$(6) \quad v_n - v_n > 0$$

なお、正レンズ群中の第1の負レンズ(L<sub>1P2</sub>、L<sub>2P2</sub>)の分

い。また、（1）式乃至（3）式の下限値を越えることにより、投影光学系中の正レンズ群（G<sub>1P</sub>、G<sub>2P</sub>）の焦点距離が長くなる場合には、色収差の補正が困難となる不都合が生じる。また、（1）式乃至（3）式の下限値を越えることにより、投影光学系中の負レンズ群（G<sub>1N</sub>、G<sub>2N</sub>）の焦点距離が長くなる場合には、球面収差が補正不足となるため好ましくない。

【0033】反対に、（1）式乃至（3）式の上限値を越えると、投影光学系中の負レンズ群（G<sub>1N</sub>、G<sub>2N</sub>）の焦点距離が短くなり、色収差の補正が困難となるばかりか、球面収差が補正過剰となるため好ましくない。なお、色収差や球面収差をより十分に補正するためには、上記

（1）式乃至（3）式の上限値を0.2とすることがより一層好ましい。

【0034】また、以上の構成に基づいて、例えば、図11及び図12に示す如く、第1波長のg線、第2波長のh線及び第3波長のi線の3つの波長を含む光束を用いた場合に、正レンズ群中の第1の負レンズの分散v<sub>n</sub>

（第1の正レンズ群の第1の負レンズL<sub>1P2</sub>の分散v<sub>n1</sub>又は第2の正レンズ群の第2の負レンズL<sub>2P2</sub>の分散v<sub>n2</sub>）は、負レンズ群中の最も正レンズ群側に配置された負レンズの分散v<sub>n</sub>（負レンズ群中の第1メニスカスレンズの分散v<sub>n1</sub>又は負レンズ群中の第3メニスカスレンズの分散v<sub>n3</sub>）よりも相対的に小さいことが好ましい。

【0035】具体的には、正レンズ群（G<sub>1P</sub>、G<sub>2P</sub>）は、正の屈折力を有する第1の正レンズ（L<sub>1P1</sub>、L<sub>2P1</sub>）と、負の屈折力を有する第1の負レンズ（L<sub>1P2</sub>、L<sub>2P2</sub>）と、正の屈折力を有する第2の正レンズ（L<sub>1P3</sub>、L<sub>2P3</sub>）とを少なくとも有する構成とし、正レンズ群（G<sub>1P</sub>、G<sub>2P</sub>）中の第1の負レンズ（L<sub>1P2</sub>、L<sub>2P2</sub>）の第1波長λ<sub>1</sub>に対する屈折率をn<sub>n</sub>（λ<sub>1</sub>）、正レンズ群（G<sub>1P</sub>、G<sub>2P</sub>）中の第1の負レンズ（L<sub>1P2</sub>、L<sub>2P2</sub>）の第2波長λ<sub>2</sub>に対する屈折率をn<sub>n</sub>（λ<sub>2</sub>）、正レンズ群（G<sub>1P</sub>、G<sub>2P</sub>）中の第1の負レンズ（L<sub>1P2</sub>、L<sub>2P2</sub>）の第3波長λ<sub>3</sub>に対する屈折率をn<sub>n</sub>（λ<sub>3</sub>）、負レンズ群（G<sub>1N</sub>、G<sub>2N</sub>）中の最も正レンズ群側に配置された負レンズ（L<sub>1N1</sub>、L<sub>2N1</sub>）の第1波長λ<sub>1</sub>に対する屈折率をn<sub>n</sub>（λ<sub>1</sub>）、負レンズ群（G<sub>1N</sub>、G<sub>2N</sub>）中の最も正レンズ群側に配置された負レンズ（L<sub>1N1</sub>、L<sub>2N1</sub>）の第2波長λ<sub>2</sub>に対する屈折率をn<sub>n</sub>（λ<sub>2</sub>）、負レンズ群（G<sub>1N</sub>、G<sub>2N</sub>）中の最も正レンズ群側に配置された負レンズ（L<sub>1N1</sub>、L<sub>2N1</sub>）の第3波長λ<sub>3</sub>に対する屈折率をn<sub>n</sub>（λ<sub>3</sub>）とすると、以下の（4）乃至（6）式の関係式を満足することが好ましい。

【0036】

【数2】

散v<sub>n</sub>は上記の（4）式に示すように定義され、負レン

ズ群中の最も正レンズ群側に配置された負レンズ( $L_{1N1}$ ,  $L_{2N1}$ )の分散 $\nu_n$ は上記の(5)式に示すように定義される。

【0037】以上の(4)式乃至(6)式を換言すれば、以下の(8)式乃至(12)式に示すように表現することができる。

$$(7) \quad \nu_{n1} = (n_{n1}(\lambda_2) - 1) / (n_{n1}(\lambda_3) - n_{n1}(\lambda_1))$$

$$(8) \quad \nu_{n1} = (n_{n1}(\lambda_2) - 1) / (n_{n1}(\lambda_3) - n_{n1}(\lambda_1))$$

$$(9) \quad \nu_{n1} - \nu_{n1} > 0$$

$$(10) \quad \nu_{n2} = (n_{n2}(\lambda_2) - 1) / (n_{n2}(\lambda_3) - n_{n2}(\lambda_1))$$

$$(11) \quad \nu_{n3} = (n_{n3}(\lambda_2) - 1) / (n_{n3}(\lambda_3) - n_{n3}(\lambda_1))$$

$$(12) \quad \nu_{n3} - \nu_{n2} > 0$$

但し、 $n_{n1}(\lambda_1)$ は第1の正レンズ群 $G_{1P}$ 中の第1の負レンズ $L_{1P2}$ の第1波長 $\lambda_1$ に対する屈折率、 $n_{n1}(\lambda_2)$ は第1の正レンズ群 $G_{1P}$ 中の第1の負レンズ $L_{1P2}$ の第2波長 $\lambda_2$ に対する屈折率、 $n_{n1}(\lambda_3)$ は第1の正レンズ群 $G_{1P}$ 中の第1の負レンズ $L_{1P2}$ の第3波長 $\lambda_3$ に対する屈折率、 $n_{n1}(\lambda_1)$ は第1の負レンズ群 $G_{1N}$ 中において最も第1の正レンズ群 $G_{1P}$ 側に配置された負レンズ(第1メニスカスレンズ) $L_{1N1}$ の第1波長 $\lambda_1$ に対する屈折率、 $n_{n1}(\lambda_2)$ は第1の負レンズ群 $G_{1N}$ 中において最も第1の正レンズ群 $G_{1P}$ 側に配置された負レンズ(第1メニスカスレンズ) $L_{1N1}$ の第2波長 $\lambda_2$ に対する屈折率、 $n_{n1}(\lambda_3)$ は第1の負レンズ群 $G_{1N}$ 中において最も第1の正レンズ群 $G_{1P}$ 側に配置された負レンズ(第1メニスカスレンズ) $L_{1N1}$ の第3波長 $\lambda_3$ に対する屈折率、 $n_{n2}(\lambda_1)$ は第2の正レンズ群 $G_{2P}$ 中の第2の負レンズ $L_{2P2}$ の第1波長 $\lambda_1$ に対する屈折率、 $n_{n2}(\lambda_2)$ は第2の正レンズ群 $G_{2P}$ 中の第2の負レンズ $L_{2P2}$ の第2波長 $\lambda_2$ に対する屈折率、 $n_{n2}(\lambda_3)$ は第2の正レンズ群 $G_{2P}$ 中の前記第2の負レンズ $L_{2P2}$ の第3波長 $\lambda_3$ に対する屈折率、 $n_{n3}(\lambda_1)$ は第2の負レンズ群 $G_{2N}$ 中において最も第2の正レンズ群 $G_{2P}$ 側に配置された負レンズ(第3メニスカスレンズ) $L_{2N1}$ の第1波長 $\lambda_1$ に対する屈折率、 $n_{n3}(\lambda_2)$ は第2の負レンズ

$$(13) \quad 0 < PS_p(\lambda_2) - PS_p(\lambda_1) < 0.00001$$

$$(14) \quad 0 < PS_p(\lambda_3) - PS_p(\lambda_1) < 0.00001$$

以上の(13)式乃至(14)式を換言すれば、以下の(15)式乃至(18)式に示すように表現することができる。

$$(15) \quad 0 < PS_{p1}(\lambda_2) - PS_{p1}(\lambda_1) < 0.00001$$

$$(16) \quad 0 < PS_{p1}(\lambda_3) - PS_{p1}(\lambda_1) < 0.00001$$

$$(17) \quad 0 < PS_{p2}(\lambda_2) - PS_{p2}(\lambda_1) < 0.00001$$

$$(18) \quad 0 < PS_{p2}(\lambda_3) - PS_{p2}(\lambda_1) < 0.00001$$

但し、 $PS_{p1}(\lambda_1)$ は第1波長 $\lambda_1$ に対する第1の正レンズ群 $G_{1P}$ のペッツバル和、 $PS_{p1}(\lambda_2)$ は第2波長 $\lambda_2$ に対する第1の正レンズ群 $G_{1P}$ のペッツバル和、 $PS_{p1}(\lambda_3)$ は第3波長 $\lambda_3$ に対する第1の正レンズ群 $G_{1P}$ のペッツバル和、 $PS_{p2}(\lambda_1)$ は第1波長 $\lambda_1$ に対する第2の正レンズ群 $G_{2P}$ のペッツバル和、 $PS_{p2}(\lambda_2)$ は第2波長 $\lambda_2$ に対する第2の正レンズ群 $G_{2P}$ のペッツバル和、 $PS_{p2}(\lambda_3)$ は第3波

ば、以下の(8)式乃至(12)式に示すように表現することができる。

【0038】

【数3】

群 $G_{2N}$ 中において最も第2の正レンズ群 $G_{2P}$ 側に配置された負レンズ(第3メニスカスレンズ) $L_{2N1}$ の第2波長 $\lambda_2$ に対する屈折率、 $n_{n3}(\lambda_3)$ は第2の負レンズ群 $G_{2N}$ 中において最も第2の正レンズ群 $G_{2P}$ 側に配置された負レンズ(第3メニスカスレンズ) $L_{2N1}$ の第3波長 $\lambda_3$ に対する屈折率である。

【0039】ここで、以上の(6)式、(9)式及び(12)式の関係を満たさないと、第1波長 $\lambda_1$ 、第2波長 $\lambda_2$ 及び第3波長 $\lambda_3$ の各波長に対する像面湾曲量の差を小さくすることが困難となり好ましくない。また、所定の複数波長に対する正レンズ群(第1及び第2の正レンズ群 $G_{1P}$ ,  $G_{2P}$ )のペッツバル和の差が所定の範囲となるように正レンズ群( $G_{1P}$ ,  $G_{2P}$ )を構成することが好ましい。

【0040】具体的には、第1波長 $\lambda_1$ に対する正レンズ群( $G_{1P}$ ,  $G_{2P}$ )のペッツバル和を $PS_p(\lambda_1)$ とし、第2波長 $\lambda_2$ に対する正レンズ群( $G_{1P}$ ,  $G_{2P}$ )のペッツバル和を $PS_p(\lambda_2)$ 、第3波長 $\lambda_3$ に対する正レンズ群( $G_{1P}$ ,  $G_{2P}$ )のペッツバル和を $PS_p(\lambda_3)$ とすると、以下の(13)及び(14)式の関係を満足することが好ましい。

【0041】

【数4】

$$(13) \quad 0 < PS_p(\lambda_2) - PS_p(\lambda_1) < 0.00001$$

$$(14) \quad 0 < PS_p(\lambda_3) - PS_p(\lambda_1) < 0.00001$$

【0042】

【数5】

長 $\lambda_3$ に対する第2の正レンズ群 $G_{2P}$ のペッツバル和である。

【0043】ここで、(13)式乃至(18)式の上限値を越えると、正レンズ群( $G_{1P}$ ,  $G_{2P}$ )において、第1波長 $\lambda_1$ による像面湾曲量に対して、第2波長 $\lambda_2$ 及び第3波長 $\lambda_3$ による像面湾曲量の量的な差が大きくなり、良好な像を得ることが困難となり好ましくない。逆に(13)式乃至(18)式の下限値を越えると、正レン

ズ群( $G_{1P}$ ,  $G_{2P}$ )において、より短い波長(第1波長 $\lambda_1$ に対する第2波長 $\lambda_2$ 及び第3波長 $\lambda_3$ )のペッツバル和が小さくなり、ペッツバル和に関して互いに逆作用を持つ正レンズ群( $G_{1P}$ ,  $G_{2P}$ )と負レンズ群( $G_{1N}$ ,  $G_{2N}$ )とによって、ペッツバル和を補正することが困難となるため好ましくない。

【0044】さらに、また、所定の複数波長に対する負レンズ群(第1及び第2の負レンズ群 $G_{1N}$ ,  $G_{2N}$ )のペッツバル和の差が所定の範囲となるように負レンズ群

$$(19) \quad 0 < PS_N(\lambda_1) - PS_N(\lambda_2) < 0.00001$$

$$(20) \quad 0 < PS_N(\lambda_1) - PS_N(\lambda_3) < 0.00001$$

以上の(19)式乃至(20)式を換言すれば、以下の(15)式乃至(24)式に示すように表現することができる。

$$(21) \quad 0 < PS_{N1}(\lambda_1) - PS_{N1}(\lambda_2) < 0.00001$$

$$(22) \quad 0 < PS_{N1}(\lambda_1) - PS_{N1}(\lambda_3) < 0.00001$$

$$(23) \quad 0 < PS_{N2}(\lambda_1) - PS_{N2}(\lambda_2) < 0.00001$$

$$(24) \quad 0 < PS_{N2}(\lambda_1) - PS_{N2}(\lambda_3) < 0.00001$$

但し、 $PS_{N1}(\lambda_1)$ は第1波長 $\lambda_1$ に対する第1の負レンズ群 $G_{1N}$ のペッツバル和、 $PS_{N1}(\lambda_2)$ は第2波長 $\lambda_2$ に対する第1の負レンズ群 $G_{1N}$ のペッツバル和、 $PS_{N1}(\lambda_3)$ は第3波長 $\lambda_3$ に対する第1の負レンズ群 $G_{1N}$ のペッツバル和、 $PS_{N2}(\lambda_1)$ は第1波長 $\lambda_1$ に対する第2の負レンズ群 $G_{2N}$ のペッツバル和、 $PS_{N2}(\lambda_2)$ は第2波長 $\lambda_2$ に対する第2の負レンズ群 $G_{2N}$ のペッツバル和、 $PS_{N2}(\lambda_3)$ は第3波長 $\lambda_3$ に対する第2の負レンズ群 $G_{2N}$ のペッツバル和である。

【0047】ここで、(19)式乃至(24)式の上限値を越えると、負レンズ群( $G_{1N}$ ,  $G_{2N}$ )において、第1波長 $\lambda_1$ による像面湾曲量に対して、第2波長 $\lambda_2$ 及び第3波長 $\lambda_3$ による像面湾曲量の量的な差が大きくなり、良好な像を得ることが困難となり好ましくない。逆に(19)式乃至(24)式の下限値を越えると、負レンズ群( $G_{1N}$ ,  $G_{2N}$ )において、より短い波長(第1波長 $\lambda_1$ に対する第2波長 $\lambda_2$ 及び第3波長 $\lambda_3$ )のペッツバル和が大きくなり、ペッツバル和に関して互いに逆作用を持つ負レンズ群( $G_{1N}$ ,  $G_{2N}$ )と正レンズ群( $G_{1P}$ ,  $G_{2P}$ )とによって、ペッツバル和を補正することが困難となるため好ましくない。

【0048】さて、本発明の各実施の形態に係る実施例について添付図面に基いて説明する。なお、後述する各実施例とも本発明を露光装置に応用した例を代表させて説明しているが、後述する基板ステージKS上に穴あけ加工や凹凸の加工等が施されるべき被加工物を基板30の代わりに配置するとともに、後述するマスクステージMS上に露光用のマスク10の代わりに被加工物に対して穴あけ加工や凹凸の加工等を施すべき開口等を持つ光加工用のマスクを配置すれば、各実施例に示す露光装置は、アブレーション作用を利用した光加工装置として

( $G_{1N}$ ,  $G_{2N}$ )を構成することが好ましい。具体的には、第1波長 $\lambda_1$ に対する負レンズ群( $G_{1N}$ ,  $G_{2N}$ )のペッツバル和を $PS_N(\lambda_1)$ とし、第2波長 $\lambda_2$ に対する負レンズ群( $G_{1N}$ ,  $G_{2N}$ )のペッツバル和を $PS_N(\lambda_2)$ 、第3波長 $\lambda_3$ に対する負レンズ群( $G_{1N}$ ,  $G_{2N}$ )のペッツバル和を $PS_N(\lambda_3)$ とすると、以下の(19)式及び(20)式の関係を満足することが好ましい。

【0045】

【数6】

【0046】

【数7】

用いることが可能となる。

【0049】図1は本発明の実施の形態にかかる投影光学系を走査型投影露光装置に適用した例を概略的に示す図である。図1では、所定のパターンが形成されたマスク10と、レジストが塗布された基板30とが搬送される方向(走査方向)をX軸、前記マスク10の平面内でX軸と直交する方向をY軸、前記マスク10の法線方向をZ軸にとっている。

【0050】図1において、投影光学系は、前記マスク10上の回路パターンの一次像を形成する第1反射屈折型結像光学系 $K_1$ と、この一次像からの光に基づいて前記基板30上に回路パターンの正立正像(二次像)を形成する第2反射屈折型結像光学系 $K_2$ とを有する。前記第1反射屈折型結像光学系 $K_1$ は、前記マスク10の面(XY平面)に対して $45^\circ$ で斜設された反射面 $P_{1a}$ 、 $P_{1b}$ を持つ直角プリズム $P_1$ と、正の屈折力を有する第1正レンズ群 $G_{1P}$ と、負の屈折力を有する第1負レンズ群 $G_{1N}$ とから構成される第1屈折光学系 $S_1$ と、第1凹面反射鏡 $M_1$ とを有する。

【0051】ここで、前記第1正レンズ群 $G_{1P}$ は、螢石からなり正の屈折力を有するレンズ $L_{1P1}$ と、合成石英からなり負の屈折力を有するレンズ $L_{1P2}$ と、螢石からなり正の屈折力を有するレンズ $L_{1P3}$ とから構成され、前記第1負レンズ群 $G_{1N}$ は、螢石からなり前記第1凹面反射鏡 $M_1$ 側に凹面を向けた形状で負の屈折力を有する第1の負レンズ $L_{1N1}$ と、前記第1正レンズ群 $G_{1P}$ 側に凹面を向けた第1のメニスカスレンズ $L_{1N2}$ とから構成される。

【0052】また、前記第2反射屈折型結像光学系 $K_2$ は、前記第1反射屈折型結像光学系 $K_1$ の構成と全く同一であり、即ち、前記基板30の面(XY平面)に対し

て45°で斜設された反射面 $P_{2a}$ 、 $P_{2b}$ を持つ直角プリズム $P_2$ と、正の屈折力を有する第2正レンズ群 $G_{2P}$ と、負の屈折力を有する第2負レンズ群 $G_{2N}$ とから構成される第2屈折光学系 $S_2$ と、前記第2凹面反射鏡 $M_2$ とを有する。

【0053】ここで、前記第2正レンズ群 $G_{2P}$ は、螢石からなり正の屈折力を有するレンズ $L_{2P1}$ と、合成石英ガラスからなり負の屈折力を有するレンズ $L_{2P2}$ と、螢石からなり正の屈折力を有するレンズ $L_{2P3}$ と、螢石からなり正の屈折力を有するレンズ $L_{2P4}$ とから構成され、前記第2負レンズ群 $G_{2N}$ は、螢石からなり前記第2凹面反射鏡 $M_2$ 側に凹面を向けた形状で負の屈折力を有する第2の負レンズ $L_{2N1}$ と、前記第2の正レンズ群 $G_{2P}$ 側に凹面を向けた第2のメニスカスレンズ $L_{2N2}$ とから構成される。

【0054】なお、前記第1反射屈折型結像光学系 $K_1$ により形成される回路パターン的一次像形成位置には、前記基板30での投影領域を規定する視野絞りFSが設けられる。さて、発振器40は狭帯化されていないK<sub>r</sub>Fエキシマレーザ光を発振し、この発振器40からのレーザビームは、照明光学系41を介してマスク10上の回路パターンへ向かい、マスク10上の所定の領域は、照明光学系41からの照明光（露光光）によりほぼ均一の照度で照明される。なお、照明光学系41としては、当該技術分野で一般的に使用されるものを用いることができる。

【0055】この回路パターンを介した光は、図1にて-Z方向で表わされる方向に沿って進行し、前記直角プリズム $P_1$ の反射面 $P_{1a}$ により90°偏向されて図中+X方向へ向けて進行し、前記第1正レンズ群 $G_{1P}$ （ $L_{1P1} \sim L_{1P4}$ ）に入射する。前記第1正レンズ群 $G_{1P}$ に入射した光は、前記第1負レンズ群 $G_{1N}$ （ $L_{1N1} \sim L_{1N2}$ ）を介して前記第1凹面反射鏡 $M_1$ に達する。ここで、前記第1凹面反射鏡 $M_1$ は、前記第1屈折光学系 $S_1$ （ $G_{1P}$ 、 $G_{1N}$ ）の後側焦点位置の近傍に配置される。すなわち、前記第1凹面反射鏡 $M_1$ は、前記第1反射屈折型結像光学系 $K_1$ の瞳面に位置している。なお、第1屈折光学系 $S_1$ の後側焦点位置とは、前記直角プリズム $P_1$ 側を前側とし、前記第1凹面反射鏡 $M_1$ 側を後側とした際の後側焦点の位置である。

【0056】次に、前記第1凹面反射鏡 $M_1$ にて反射された光は、前記第1負レンズ群 $G_{1N}$ 及び前記第1正レンズ群 $G_{1P}$ を順に介して図中-X方向に沿って進行して前記直角プリズム $P_1$ の反射面 $P_{1b}$ に向かう。そして、前記直角プリズム $P_1$ の反射面 $P_{1b}$ に達する光は、前記反射面 $P_{1b}$ にて略90°偏向されて図中-Z方向に沿って進行し、前記視野絞りFSの位置に回路パターン的一次像を形成する。この一次像においては、X方向における横倍率は略+1倍であり、かつY方向における横倍率が略-1倍である。一次像からの光は、前記第2反射屈折型

結像光学系 $K_2$ を介して、前記基板30上に回路パターンの二次像を形成する。ここで、この二次像のX方向及びY方向における横倍率は略+1倍である。すなわち、上記基板30上に形成される二次像は、正立正像である。なお、前記第2反射屈折型結像光学系 $K_2$ の有する機能は、前記第1反射屈折型結像光学系 $K_1$ の機能と同等であるため、ここでは詳しい説明を省略する。

【0057】このように、上記基板30上に形成される回路パターンの像が正立正像であるため、マスクステージMSに保持されている上記マスク10と基板ステージKSに保持されている上記基板30とを一体に（あるいは別体に同期させて）同一方向に移動させれば、走査露光を行うことができる。なお、マスクステージMSと基板ステージKSとを一体に移動させるときには、例えばマスクステージMSと基板ステージKSとをキャリッジの上に設け、当該キャリッジを移動させれば良い。

【0058】また、上述の第1反射屈折型結像光学系 $K_1$ においては、前記第1屈折光学系 $S_1$ の後側焦点位置の近傍に前記第1凹面反射鏡 $M_1$ が配置されているため、上記マスク10側及び上記視野絞りFS側においてテレセントリックとなる。また、前記第2反射屈折型結像光学系 $K_2$ においても、第2屈折光学系 $S_2$ の後側焦点位置の近傍に前記第2凹面反射鏡 $M_2$ が配置されているため、前記視野絞りFS側及び上記基板30側においてテレセントリックとなる。従って、上記投影光学系PLは、両側（上記マスク10側及び上記基板30側）テレセントリック光学系である。

【0059】そして、以下の表1には、図1に示した第1及び第2反射屈折型投影光学系（ $K_1$ 、 $K_2$ ）の諸元の値及び条件対応値を掲げる。但し、左端の数字は物体側（又は一次像）からの第1凹面反射鏡 $M_1$ （又は第2凹面反射鏡 $M_2$ ）までの順序を示し、rはレンズ面又は反射面の曲率半径、dはレンズ面間隔を示している。また、Dは正レンズ群（ $G_{1P}$ 、 $G_{2P}$ ）と負レンズ群

（ $G_{1N}$ 、 $G_{2N}$ ）との間の軸上距離（群間隔）、 $D_1$ は第1正レンズ群 $G_{1P}$ と第1負レンズ群 $G_{1N}$ との間の軸上距離（群間隔）、 $D_2$ は第2正レンズ群 $G_{2P}$ と第2負レンズ群 $G_{2N}$ との間の軸上距離（群間隔）、Lは負レンズ群（ $G_{1N}$ 、 $G_{2N}$ ）中の2つのメニスカスレンズ（ $L_{1N1}$ と $L_{1N2}$ 、又は $L_{2N1}$ と $L_{2N2}$ ）の間の軸上距離（レンズ間隔）、 $L_1$ は第1負レンズ群 $G_{1N}$ における第1メニスカスレンズ $L_{1N1}$ と第2メニスカスレンズ $L_{1N2}$ との間の軸上距離（レンズ間隔）、 $L_2$ は第2負レンズ群 $G_{2N}$ における第3メニスカスレンズ $L_{2N1}$ と第4メニスカスレンズ $L_{2N2}$ との間の軸上距離（レンズ間隔）である。

【0060】なお、合成石英及び螢石の屈折率は以下の通りである。

波長(nm)	螢石	合成石英
247.9	1.46807	1.50867
248.4	1.46788	1.50839

248.9      1.46769      1.50811  
 【0061】

【表1】

## 〔第1実施例〕

	r	d	光学材料名	光学部材
0	$\infty$	115		
1	1128.5	22	螢石	$L_{1P1}$ ( $L_{2P1}$ )
2	-191.7	5		
3	-178.6	15	合成石英	$L_{1P2}$ ( $L_{2P2}$ )
4	281.8	1.8		
5	282.9	22	螢石	$L_{1P3}$ ( $L_{2P3}$ )
6	-328.3	1		
7	758.3	18	螢石	$L_{1P4}$ ( $L_{2P4}$ )
8	-466.9	275		
9	4165.1	15	螢石	$L_{1N1}$ ( $L_{2N1}$ )
10	663.4	14.8		
11	-189.7	15	螢石	$L_{1N2}$ ( $L_{2N2}$ )
12	-178.9	19.3		
13	-568			$M_1$ ( $M_2$ )

## 〔第1実施例の条件対応値〕

$$D=D_1=D_2=275$$

$$L=L_1=L_2=14.8$$

$$L/D=L_1/D_1=L_2/D_2=0.0538$$

なお、表1において、像高Yは46mmであり、物体面側での開口数N.A.は0.1である。また、第0番目の面は物体面又は像面を示している。

【0062】ここで、表1に示した光学系では、第1屈折光学系 $S_1$ の第1正レンズ群 $G_{1P}$  ( $L_{1P1} \sim L_{1P4}$ )の中で正の屈折力を有するレンズ $L_{1P1}$  (焦点距離352.1mm)と、正の屈折力を有するレンズ $L_{1P3}$  (焦点距離328.5mm)とは螢石から、また、負の屈折力を有するレンズ $L_{1P2}$  (焦点距離-212.7mm)は合成石英から、さらに、第1負レンズ群 $G_{1N}$  ( $L_{1N1} \sim L_{1N2}$ )の中で負の屈折力を有するレンズ $L_{1N1}$  (焦点距離-1688.8mm)は螢石から構成されていることがわかる。

【0063】図2、図3及び図4は、それぞれタンジェンシャル面内及びサジタル面内のコマ収差図である。ここで、図2は狭帯化されていないK r Fエキシマレーザの発振中心波長 $\lambda=248.4$ nmにおけるコマ収差図、図3は半値幅の短波長側 $\lambda=247.9$ nmにおけるコマ収差図、図4は半値幅の長波長側 $\lambda=248.9$ nmにおけるコマ収差図である。なお、図2、図3及び図4において、点線で示す曲線はタンジェンシャル面内のコマ収差を、実線で示す曲線はサジタル面内のコマ収差を表わす。また、図5は、上記各波長における非点収差図であり、図中点線で示す曲線はタンジェンシャル面内の焦点位置を、実線で示す曲線はサジタル面内の焦点位置を示している。

【0064】これら図2乃至図5においては、狭帯化されていないK r Fエキシマレーザの発振中心波長 $\lambda=248.4$ nmをWLCとし、半値幅の短波長側 $\lambda=24$

7.9nmの波長をWLSとし、長波長側 $\lambda=248.9$ nmの波長をWLLとしている。これらの収差図から、本発明における第1の実施例は、狭帯化されていないK r Fエキシマレーザの発振波長域内において良好な光学性能を有していることがわかる。

【0065】次に、図6を参照しながら投影光学系を構成する第1反射屈折型結像光学系 $K_1$  (又は第2反射屈折型結像光学系 $K_2$ )の第2の実施例について説明する。図6には第1反射屈折型結像光学系 $K_1$ のみのレンズ構成図を示し、第2反射屈折型結像光学系 $K_2$ は、第1反射屈折型結像光学系と同じ構成であるので、説明を省略している。また、説明を簡略化するために、図6においては、前記第1屈折光学系 $S_1$  (又は第2屈折光学系 $S_2$ )の左側に配置されている光路偏向部材としての直角プリズム $P_1$  (又は直角プリズム $P_2$ )の図示を省略している。第2の実施例では、これらの第1及び第2反射屈折型結像光学系を図1に示すように直列に配置して投影光学系を構成する。

【0066】図6に示す如く、第1反射屈折型結像光学系 $K_1$  (又は第2反射屈折型結像光学系 $K_2$ )は、第1正レンズ群 $G_{1P}$  (又は第2正レンズ群 $G_{2P}$ )及び第1負レンズ群 $G_{1N}$  (又は第2負レンズ群 $G_{2N}$ )との2群から構成される第1屈折光学系 $S_1$  (又は第2屈折光学系 $S_2$ )と第1凹面反射鏡 $M_1$  (又は第2凹面反射鏡 $M_2$ )とを有する。

【0067】前記第1正レンズ群 $G_{1P}$  (又は前記第2正レンズ群 $G_{2P}$ )は、レンズ $L_{1P1} \sim L_{1P5}$  (又はレンズ $L_{2P1} \sim L_{2P5}$ )から構成され、前記第1負レンズ群 $G$

$L_{IN}$  (又は前記第2負レンズ群 $G_{2N}$ ) は、レンズ $L_{IN1} \sim L_{IN2}$  (又はレンズ $L_{2N1} \sim L_{2N2}$ ) から構成される。そして、以下の表2には、図6に示した投影光学系の諸元の値を掲げる。但し、左端の数字は物体側 (又は一次像) からの第1凹面反射鏡 $M_1$  (又は第2凹面反射鏡

$M_2$ ) までの順序を示し、 $r$  はレンズ面又は反射面の曲率半径、 $d$  はレンズ面間隔を示している。

【0068】

【表2】

〔第2実施例〕

	$r$	$d$	光学材料名	光学部材
0	$\infty$	115		
1	574.3	22	螢石	$L_{1P1}$ ( $L_{2P1}$ )
2	-189.4	2.2		
3	-181	15	合成石英	$L_{1P2}$ ( $L_{2P2}$ )
4	-461.2	1		
5	-2186.2	15	合成石英	$L_{1P3}$ ( $L_{2P3}$ )
6	214.1	3.2		
7	217.7	25	螢石	$L_{1P4}$ ( $L_{2P4}$ )
8	-544.5	1		
9	712.5	20	螢石	$L_{1P5}$ ( $L_{2P5}$ )
10	-694.7	241.6		
11	4189	15	螢石	$L_{IN1}$ ( $L_{2N1}$ )
12	500.8	10		
13	-163.1	15	螢石	$L_{IN2}$ ( $L_{2N2}$ )
14	-153.1	10		
15	-525.1			

〔第2実施例の条件対応値〕

$$D = D_1 = D_2 = 241.6$$

$$L = L_1 = L_2 = 10$$

$$L/D = L_1/D_1 = L_2/D_2 = 0.0414$$

なお、表2において、像高 $Y$ は4.6mmであり、物体面側での開口数 $N.A.$ は0.1である。また、第0番目の面は物体面又は像面を示している。

【0069】ここで、表2に示した光学系では、第1屈折光学系 $S_1$ の第1正レンズ群 $G_{1P}$  ( $L_{1P1} \sim L_{1P5}$ ) の中で正の屈折力を有するレンズ $L_{1P1}$  (焦点距離307.2mm) と、正の屈折力を有するレンズ $L_{1P4}$  (焦点距離335.9mm) と、正の屈折力を有するレンズ $L_{1P5}$  (焦点距離755.2mm) とは螢石から、また、負の屈折力を有するレンズ $L_{1P2}$  (焦点距離-596.9mm) と、負の屈折力を有するレンズ $L_{1P3}$  (焦点距離-382.8mm) とは合成石英から、さらに、第1負レンズ群 $G_{1N}$  ( $L_{1N1} \sim L_{1N2}$ ) の中で負の屈折力を有するレンズ $L_{1N1}$  (焦点距離-1217.3mm) は螢石から構成されていることがわかる。

【0070】図7、図8及び図9は、それぞれタンジェンシャル面内及びサジタル面内のコマ収差図である。ここで、図7は狭帯化されていないK<sub>r</sub>Fエキシマレーザの発振中心波長 $\lambda = 248.4$ nmにおけるコマ収差図、図8は半値幅の短波長側 $\lambda = 247.9$ nmにおけるコマ収差図、図9は半値幅の長波長側 $\lambda = 248.9$ nmにおけるコマ収差図である。なお、図7、図8及び図9において、点線で示す曲線はタンジェンシャル面内のコマ収差を、実線で示す曲線はサジタル面内のコマ収

差を表わす。

【0071】また、図10は、上記各波長における非点収差図であり、図中点線で示す曲線はタンジェンシャル面内の焦点位置を、実線で示す曲線はサジタル面内の焦点位置を示している。これら図7乃至図10においては、狭帯化されていないK<sub>r</sub>Fエキシマレーザの発振中心波長 $\lambda = 248.4$ nmをWLCとし、半値幅の短波長側 $\lambda = 247.9$ nmの波長をWLSとし、長波長側 $\lambda = 248.9$ nmの波長をWLLとしている。

【0072】これらの収差図から、本発明における第2の実施例は、狭帯化されていないK<sub>r</sub>Fエキシマレーザの発振波長域内において良好な光学性能を有していることがわかる。次に、図11及び図12を参照しながら本発明の別の実施の形態にかかる投影光学系を走査型投影露光装置に適用した第3の実施例について説明する。図11及び図12において、図1に示した部材と同じ機能を有する部材には同じ符号を付してある。

【0073】図11に示す走査型投影露光装置において、図1に示した走査型投影露光装置と異なる所は、狭帯化されていない自然発振のエキシマレーザ光を供給するエキシマレーザ光源を含む発振器40の代わりに、g線 (436nm)、h線 (405nm) 及びi線 (365nm) を含む光束を供給する光源部42を設けた点、



および投影光学系PL中の主に各屈折光学系( $S_1$ 、 $S_2$ )の構成を変更した点である。なお、以上の相違点以外は、図11に示す走査型投影露光装置と図1に示すものと同じあるため重複部分については説明を省略する。

【0074】さて、図11に示すように、光源部42は、例えば、所定の複数の波長、すなわちg線(436nm)、h線(405nm)及びi線(365nm)を含む光束を発する水銀アークランプと、この水銀アークランプからの光を集光する楕円鏡等の集光鏡と、この集光鏡を介した光束を所定の状態の光束(ほぼ平行光束等)に変換する集光光学系(コリメート系等)等を含んでいる。

【0075】従って、光源部42から供給される光束、即ちg線(436nm)、h線(405nm)及びi線(365nm)を含む光束は適切な光束状態のもとで照明光学系41へ導かれる。このように、光源部42にて供給される所定の複数の波長の光を有する光束(露光光)は、照明光学系41を介してマスク10上の回路パターンへ向かい、マスク10上の所定の領域は、照明光学系41からの照明光(露光光)によりほぼ均一の照度で照明される。そして、均一照明されたマスク10のパターンからの光は、投影光学系( $K_1$ 、 $K_2$ )を介して感光性基板30に結像され、感光性基板30上には、マスク10のパターン像が形成される。このとき、マスクステージMSにて保持されているマスク10と基板ステージKSにて保持されている基板30とを一体的に移動させれば、マスク10の全面パターン像が感光性基板30上に露光することができる。

【0076】ここで、図11に示す投影光学系は、露光光としている所定の複数の波長(g線、h線、i線)の光に対して色収差補正が施されている。図11において、投影光学系は、前記マスク10上の回路パターンの一次像を形成する第1反射屈折型結像光学系 $K_1$ と、この一次像からの光に基づいて前記基板30上に回路パターンの正立正像(二次像)を形成する第2反射屈折型結像光学系 $K_2$ とを有する。図12では、各反射屈折型結像光学系( $K_1$ 、 $K_2$ )のを拡大した様子を示している。

【0077】前記第1反射屈折型結像光学系 $K_1$ は、前記マスク10の面(XY平面)に対して45°で斜設された反射面 $P_{1a}$ 、 $P_{1b}$ を持つ直角プリズム $P_1$ と、正の屈折力を有する第1正レンズ群 $G_{1p}$ と、負の屈折力を有する第1負レンズ群 $G_{1n}$ とから構成される第1屈折光学系 $S_1$ と、第1凹面反射鏡 $M_1$ とを有する。ここで、前記第1正レンズ群 $G_{1p}$ は、両凸形状の正レンズ(第1の正レンズ) $L_{1p1}$ と、第1凹面反射鏡 $M_1$ 側に凸面を向けたメニスカス形状の負レンズ(第1の負レンズ) $L_{1p2}$ と、両凸形状の正レンズ(第2の正レンズ) $L_{1p3}$ とから構成され、前記第1負レンズ群 $G_{1n}$ は、第1凹面反射

〔第3実施例〕

鏡 $M_1$ 側に凹面を向けたメニスカス形状の負レンズ(第1のメニスカスレンズ) $L_{1n1}$ と、第1凹面反射鏡 $M_1$ 側に凸面を向けたメニスカス形状の正レンズ(第2のメニスカスレンズ) $L_{1n2}$ とから構成される。

【0078】また、前記第2反射屈折型結像光学系 $K_2$ は、前記第1反射屈折型結像光学系 $K_1$ の構成と全く同一であり、即ち、前記基板30の面(XY平面)に対して45°で斜設された反射面 $P_{2a}$ 、 $P_{2b}$ を持つ直角プリズム $P_2$ と、正の屈折力を有する第2正レンズ群 $G_{2p}$ と、負の屈折力を有する第2負レンズ群 $G_{2n}$ とから構成される第2屈折光学系 $S_2$ と、前記第2凹面反射鏡 $M_2$ とを有する。

【0079】ここで、前記第2正レンズ群 $G_{2p}$ は、両凸形状の正レンズ(第3の正レンズ) $L_{2p1}$ と、第2凹面反射鏡 $M_2$ 側に凸面を向けたメニスカス形状の負レンズ(第2の負レンズ) $L_{2p2}$ と、両凸形状の正レンズ(第4の正レンズ) $L_{2p3}$ とから構成され、前記第2負レンズ群 $G_{2n}$ は、第2凹面反射鏡 $M_2$ 側に凹面を向けたメニスカス形状の負レンズ(第3のメニスカスレンズ) $L_{2n1}$ と、第2凹面反射鏡 $M_2$ 側に凸面を向けたメニスカス形状の正レンズ(第4のメニスカスレンズ) $L_{2n2}$ とから構成される。

【0080】なお、前記第1反射屈折型結像光学系 $K_1$ により形成される回路パターンの一次像形成位置には、前記基板30での投影領域を規定する視野絞りFSが設けられる。また、上述の第1反射屈折型結像光学系 $K_1$ においては、前記第1屈折光学系 $S_1$ の略後側焦点位置に前記第1凹面反射鏡 $M_1$ が配置されているため、上記マスク10側及び上記視野絞りFS側においてテレセントリックとなる。さらに、前記第2反射屈折型結像光学系 $K_2$ においても、第2屈折光学系 $S_2$ の略後側焦点位置に前記第2凹面反射鏡 $M_2$ が配置されているため、前記視野絞りFS側及び上記基板30側においてテレセントリックとなる。従って、上記投影光学系PLは、両側(上記マスク10側及び上記基板30側)テレセントリック光学系である。

【0081】さて、以下の表3には、図11に示した第1及び第2反射屈折光学系( $K_1$ 、 $K_2$ )の諸元の値及び条件対応値を掲げる。但し、左端の数字は物体側(又は一次像)からの第1凹面反射鏡 $M_1$ (又は第2凹面反射鏡 $M_2$ )までの順序を示し、rはレンズ面又は反射面の曲率半径、dはレンズ面間隔、 $n_g$ は露光波長の光(g線:436nm)に対する媒質(光学材料)の屈折率、 $n_h$ は露光波長の光(h線:406nm)に対する媒質(光学材料)の屈折率、 $n_i$ は露光波長の光(i線:365nm)に対する媒質(光学材料)の屈折率を示している。

【0082】

〔表3〕

	r	d	$n_g$	$n_h$	$n_i$	光学部材
0	$\infty$	112				
1	$\infty$	10	1.60361	1.60801	1.61549	
2	$\infty$	10				
3	1460.56	21	1.45815	1.46030	1.46393	$L_{1P1}(L_{2P1})$
4	-211.99	17.5				
5	-150.81	15	1.59429	1.60099	1.61292	$L_{1P2}(L_{2P2})$
6	-303.18	1				
7	-4082.06	19.5	1.45815	1.46030	1.46393	$L_{1P3}(L_{2P3})$
8	-202.85	305.4				
9	2813.90	18.6	1.45815	1.46030	1.46393	$L_{1N1}(L_{2N1})$
10	808.23	17.8				
11	-210.70	12	1.59429	1.60099	1.61292	$L_{1N2}(L_{2N2})$
12	-208.63	12.1				
13	-598.56					$M_1(M_2)$

〔第3実施例の条件対応値〕

- (1)  $D=D_1=D_2=305.4$
- (2)  $L=L_1=L_2=17.8$
- (3)  $L/D=L_1/D_1=L_2/D_2=0.0583$
- (4)  $\nu_n=\nu_{n1}=\nu_{n2}=69.6$
- (5)  $\nu_m=\nu_{m1}=\nu_{m3}=79.6$
- (6)  $\nu_m-\nu_n=\nu_{m1}-\nu_{n1}=\nu_{m3}-\nu_{n2}=10$
- (7)  $PS_p(\lambda_2)-PS_p(\lambda_1)=0.0000015$   
 $PS_{p1}(\lambda_2)-PS_{p1}(\lambda_1)=0.0000015$   
 $PS_{p2}(\lambda_2)-PS_{p2}(\lambda_1)=0.0000015$
- (8)  $PS_p(\lambda_3)-PS_p(\lambda_1)=0.0000032$   
 $PS_{p1}(\lambda_3)-PS_{p1}(\lambda_1)=0.0000032$   
 $PS_{p2}(\lambda_3)-PS_{p2}(\lambda_1)=0.0000032$
- (9)  $PS_N(\lambda_1)-PS_N(\lambda_2)=0.0000008$   
 $PS_{N1}(\lambda_1)-PS_{N1}(\lambda_2)=0.0000008$   
 $PS_{N2}(\lambda_1)-PS_{N2}(\lambda_2)=0.0000008$
- (10)  $PS_F(\lambda_1)-PS_F(\lambda_3)=0.0000030$   
 $PS_{N1}(\lambda_1)-PS_{N1}(\lambda_3)=0.0000030$   
 $PS_{N2}(\lambda_1)-PS_{N2}(\lambda_3)=0.0000030$

なお、表3において、像高Yは47mmであり、物体面側での開口数N.A.は0.1である。また、第0番目の面は物体面又は像面を示している。

【0083】ここで、以下の表4に第3実施例の像高毎の波面収差のr.m.s.値をg線、h線、i線に対し

像高	W r m s (g)	W r m s (h)	W r m s (i)
0	0.019	0.045	0.022
14.1	0.019	0.045	0.022
23.5	0.019	0.044	0.022
32.9	0.019	0.045	0.022
42.3	0.019	0.045	0.020
47	0.020	0.044	0.021

表3に示すように第3実施例の投影光学系は各条件を満足しているため、上記表4に示す如く、本発明における第3の実施例の投影光学系は良好な光学性能を有していることが分かる。

て、W r m s (g)、W r m s (h)、W r m s (i)として掲げる。

【0084】

【表4】

【0085】次に、図13を参照しながら図11に示す投影光学系を構成する各反射屈折光学系( $K_1$ 、 $K_2$ )の第4の実施例について説明する。図13には第1反射屈折型結像光学系 $K_1$ のみのレンズ構成図を示し、第2反

射屈折型結像光学系 $K_2$ は、第1反射屈折型結像光学系と同じ構成であるので、説明を省略している。また、説明を簡略化するために、図13においては、前記第1屈折光学系 $S_1$ (又は第2屈折光学系 $S_2$ )の左側に配置されている光路偏向部材としての直角プリズム $P_1$ (又は直角プリズム $P_2$ )の図示を省略している。第4の実施例では、これらの第1及び第2反射屈折型結像光学系を図11に示すように直列に配置して投影光学系を構成する。

【0086】図13に示す如く、第1反射屈折型結像光学系 $K_1$ (又は第2反射屈折型結像光学系 $K_2$ )は、第1正レンズ群 $G_{1P}$ (又は第2正レンズ群 $G_{2P}$ )及び第1負レンズ群 $G_{1N}$ (又は第2負レンズ群 $G_{2N}$ )との2群から構成される第1屈折光学系 $S_1$ (又は第2屈折光学系 $S_2$ )と第1凹面反射鏡 $M_1$ (又は第2凹面反射鏡 $M_2$ )とを有する。

【0087】図13に示す第4の実施例の反射屈折型結像光学系( $K_1$ 、 $K_2$ )において、図11に示す第3の実施例と異なる所は、正レンズ群( $G_{1P}$ 、 $G_{2P}$ )中の第2

の正レンズの凹面反射鏡( $M_1$ 、 $M_2$ )側に負のメニスカスレンズ( $L_{1P4}$ 、 $L_{2P4}$ )を新たに配置した点である。前記第1正レンズ群 $G_{1P}$ (又は前記第2正レンズ群 $G_{2P}$ )は、レンズ $L_{1P1} \sim L_{1P4}$ (又はレンズ $L_{2P1} \sim L_{2P4}$ )から構成され、前記第1負レンズ群 $G_{1N}$ (又は前記第2負レンズ群 $G_{2N}$ )は、レンズ $L_{1N1} \sim L_{1N2}$ (又はレンズ $L_{2N1} \sim L_{2N2}$ )から構成される。

【0088】そして、以下の表5には、図13に示した投影光学系の諸元の値及び条件対応値を掲げる。但し、左端の数字は物体側(又は一次像)からの第1凹面反射鏡 $M_1$ (又は第2凹面反射鏡 $M_2$ )までの順序を示し、 $r$ はレンズ面又は反射面の曲率半径、 $d$ はレンズ面間隔、 $n_g$ は露光波長の光( $g$ 線：436nm)に対する媒質(光学材料)の屈折率、 $n_h$ は露光波長の光( $h$ 線：406nm)に対する媒質(光学材料)の屈折率、 $n_i$ は露光波長の光( $i$ 線：365nm)に対する媒質(光学材料)の屈折率を示している。

【0089】

【表5】

	$r$	$d$	$n_g$	$n_h$	$n_i$	光学部材
0	$\infty$	112				
1	$\infty$	10	1.60361	1.60801	1.61549	
2	$\infty$	10				
3	723.78	21	1.45815	1.46030	1.46393	$L_{1P1}(L_{2P1})$
4	-205.28	4.9				
5	-168.84	14	1.59429	1.60099	1.61292	$L_{1P2}(L_{2P2})$
6	-282.12	1				
7	679.20	33.9	1.45815	1.46030	1.46393	$L_{1P3}(L_{2P3})$
8	-266.80	60.6				
9	-278.97	31.9	1.59429	1.60099	1.61292	$L_{1P4}(L_{2P4})$
10	-454.38	162.6				
11	841.96	12	1.45815	1.46030	1.46393	$L_{1N1}(L_{2N1})$
12	416.25	10.6				
13	-154.06	12	1.59429	1.60099	1.61292	$L_{1N2}(L_{2N2})$
14	-151.61	20.5				
15	-536.84					$M_1(M_2)$

【第4実施例の条件対応値】

- (1)  $D = D_1 = D_2 = 162.6$
- (2)  $L = L_1 = L_2 = 10.6$
- (3)  $L/D = L_1/D_1 = L_2/D_2 = 0.0652$
- (4)  $\nu_n = \nu_{n1} = \nu_{n2} = 69.6$
- (5)  $\nu_s = \nu_{s1} = \nu_{s3} = 79.6$
- (6)  $\nu_s - \nu_n = \nu_{s1} - \nu_{n1} = \nu_{s3} - \nu_{n2} = 10$
- (7)  $PS_p(\lambda_2) - PS_p(\lambda_1) = 0.0000017$   
 $PS_{p1}(\lambda_2) - PS_{p1}(\lambda_1) = 0.0000017$   
 $PS_{p2}(\lambda_2) - PS_{p2}(\lambda_1) = 0.0000017$
- (8)  $PS_p(\lambda_3) - PS_p(\lambda_1) = 0.0000038$   
 $PS_{p1}(\lambda_3) - PS_{p1}(\lambda_1) = 0.0000038$   
 $PS_{p2}(\lambda_3) - PS_{p2}(\lambda_1) = 0.0000038$

$$\begin{aligned}
 (9) \quad & PS_N(\lambda_1) - PS_N(\lambda_2) = 0.0000009 \\
 & PS_{N1}(\lambda_1) - PS_{N1}(\lambda_2) = 0.0000009 \\
 & PS_{N2}(\lambda_1) - PS_{N2}(\lambda_2) = 0.0000009 \\
 (10) \quad & PS_F(\lambda_1) - PS_F(\lambda_3) = 0.0000025 \\
 & PS_{N1}(\lambda_1) - PS_{N1}(\lambda_3) = 0.0000025 \\
 & PS_{N2}(\lambda_1) - PS_{N2}(\lambda_3) = 0.0000025
 \end{aligned}$$

なお、表5において、像高Yは47mmであり、物体面側での開口数N.A.は0.1である。また、第0番目の面は物体面又は像面を示している。

【0090】ここで、以下の表6に第4実施例の像高毎の波面収差のr.m.s.値をg線、h線、i線に対し

像高	W r m s (g)	W r m s (h)	W r m s (i)
0	0.018	0.048	0.023
14.1	0.019	0.048	0.023
23.5	0.019	0.047	0.024
32.9	0.020	0.047	0.024
42.3	0.020	0.048	0.023
47	0.021	0.047	0.023

表5に示すように第4実施例の投影光学系は各条件を満足しているため、上記表6に示す如く、本発明における第4の実施例の投影光学系は良好な光学性能を有していることが分かる。

【0092】なお、上述の実施例においては、本発明のよる投影光学系を第1反射屈折型結像光学系 $K_1$ と第2反射屈折型結像光学系 $K_2$ とに適應したが、前記第1反射屈折型結像光学系 $K_1$ の前記反射面 $P_{1a}$ 、 $P_{1b}$ を持つ直角プリズム $P_1$ の前記反射面 $P_{1a}$ 又は $P_{1b}$ のどちらか一方の反射面をダハ面を有するものとして、第1反射屈折型結像光学系を構成することにより等倍の正立正像を形成することも可能である。なお、このようなダハ面を有する光路偏向部材としては例えば特開平4-251812号に開示されている。

【0093】また、上述の各実施例においては、反射屈折型結像光学系( $K_1$ 、 $K_2$ )の負レンズ群( $G_{1N}$ 、 $G_{2N}$ )中の最も正レンズ群( $G_{1P}$ 、 $G_{2P}$ )側に配置された負レンズ( $L_{1N1}$ 、 $L_{2N1}$ )をメニスカス形状としたが、このレンズ( $L_{1N1}$ 、 $L_{2N1}$ )において負の屈折力を有していればどのような形状とすることもできる。この場合、負レンズ( $L_{1N1}$ 、 $L_{2N1}$ )は凹面を有していることが好ましく、この負レンズ( $L_{1N1}$ 、 $L_{2N1}$ )と反射鏡( $M_1$ 、 $M_2$ )との間に配置されるメニスカスレンズ( $L_{1N2}$ 、 $L_{2N2}$ )は、負レンズ( $L_{1N1}$ 、 $L_{2N1}$ )に形成される凹面と対向した凹面を有していることがより望ましい。

【0094】また、上述の実施例において、走査型露光装置に適應される投影光学系を第1反射屈折型結像光学系 $K_1$ と第2反射屈折型結像光学系 $K_2$ とにより構成されるものとしたが、走査方向と直交する方向に複数の投影光学系(第1反射屈折型結像光学系 $K_1$ と第2反射屈折型結像光学系 $K_2$ とにより構成されるもの)を配置する

て、W r m s (g)、W r m s (h)、W r m s (i)として掲げる。

【0091】

【表6】

ことにより、より広い露光領域を形成することも可能である。このような複数の投影光学系を千鳥配置するものとしては、例えば特開平8-211294号に開示されている。

【0095】このように、上述の実施の形態に係る各実施例によれば、本発明による投影光学系を適應したとき、狭帯化されていないK r Fエキシマレーザやg線～i線等を含む広い波長域の紫外光等を用いた光学装置(投影露光装置、レーザ加工装置など)に対して良好な光学性能を付与することが可能となる。これにより、上記光学装置では、比較的広い波長域の遠紫外光を利用して被露光体上での露光エネルギーを高めることができ、高スループットを達成できる。

【0096】特に、上述の実施の形態に係る各実施例に記載の装置又は投影光学系を用いて基板に穴を形成する等の光加工を行う光加工方法(又は投影方法)や基板に所定のパターンを転写する露光方法を実行することにより良好なるデバイス(半導体素子、撮像素子、液晶表示素子、薄膜磁気ヘッド等)を製造することができる。この場合における投影方法や露光方法としては、照明光学系41を用いて第1物体(マスク10)の所定領域(パターン領域)に紫外光(加工光)を導く工程(照明工程)と、投影光学系を用いて第1物体の所定領域の像(マスク10のパターン像)を第2物体(感光性基板30)に形成する工程(投影工程)を有することが好ましく、さらに、投影光学系に対して第1物体と第2物体とを移動させる工程(走査工程)を有することがより好ましい。

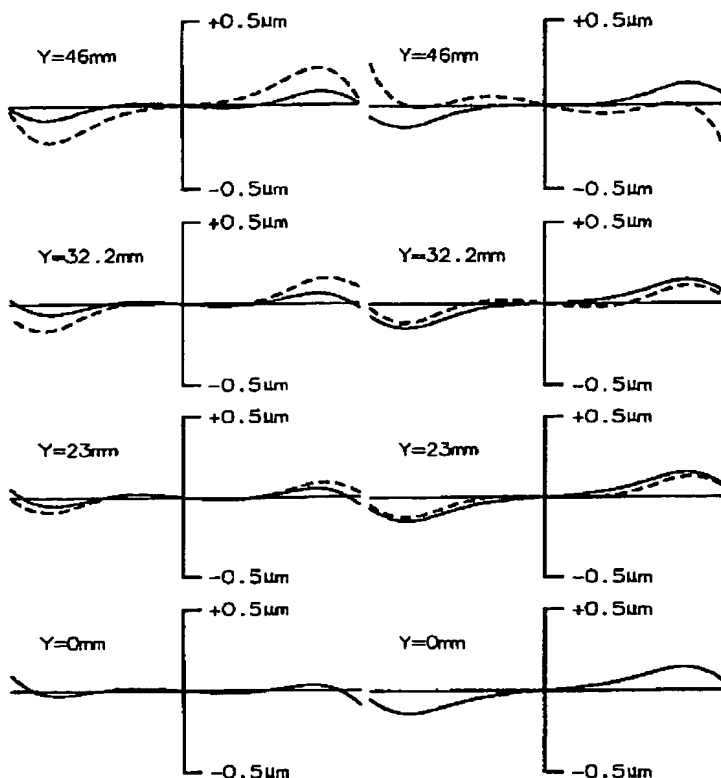
【0097】

【発明の効果】以上の通り、本発明によれば、比較的広い波長域の遠紫外光を利用する光学装置に、良好な光学性能を提供できる。

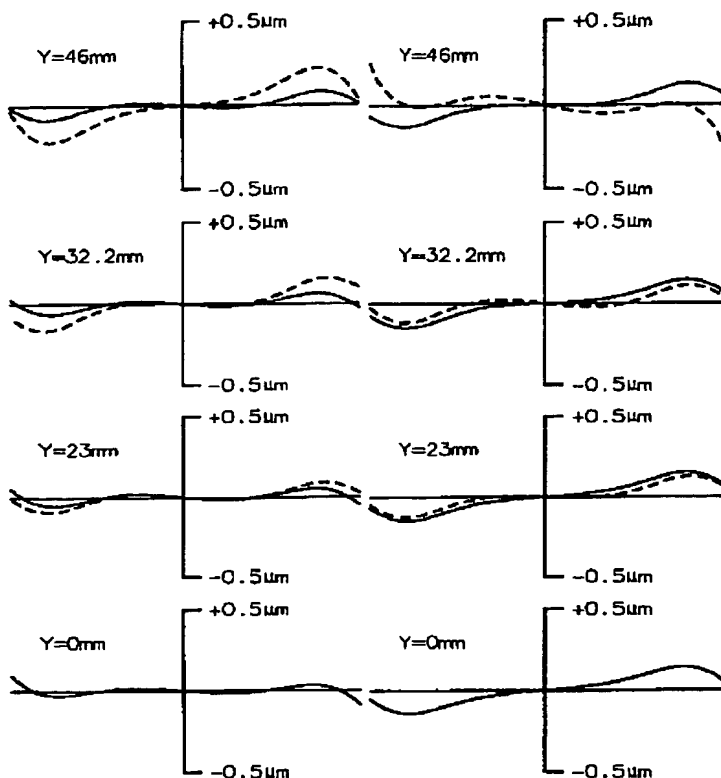
【図面の簡単な説明】



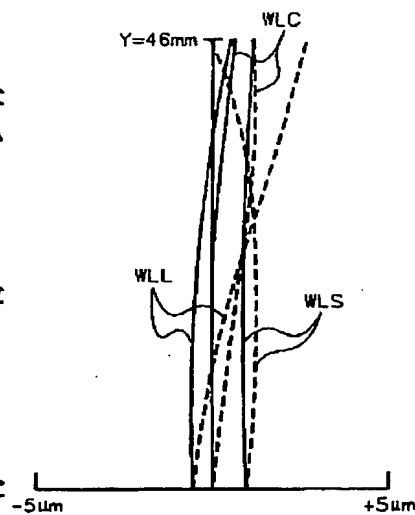
【図 3】



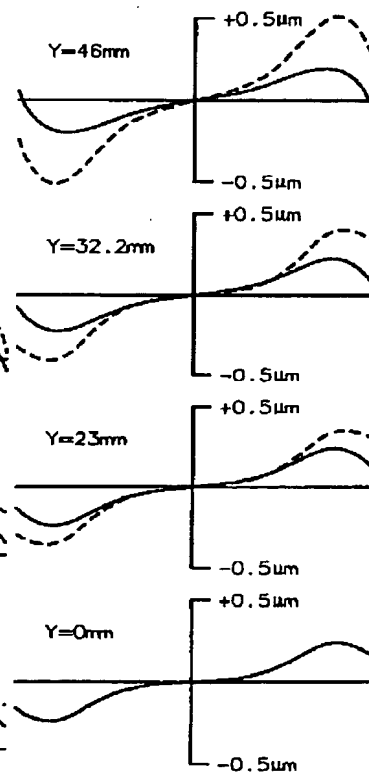
【図 4】



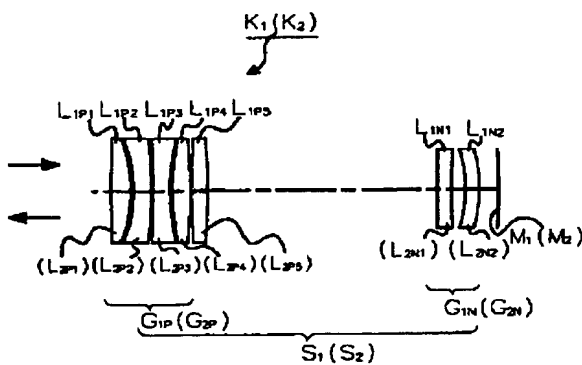
【図 5】



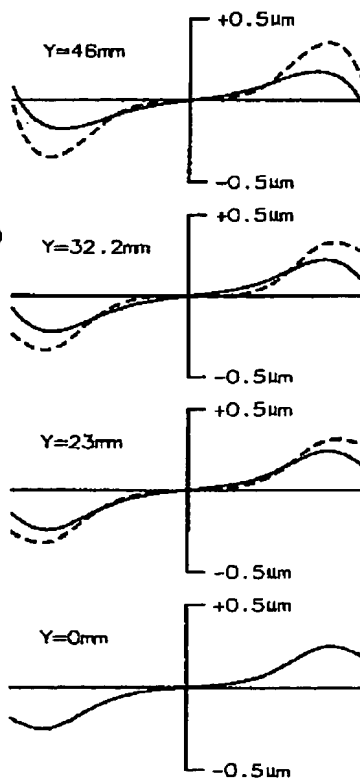
【図 8】



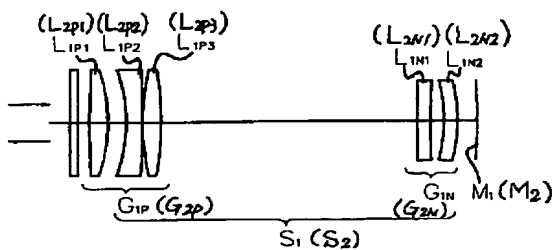
【図 6】



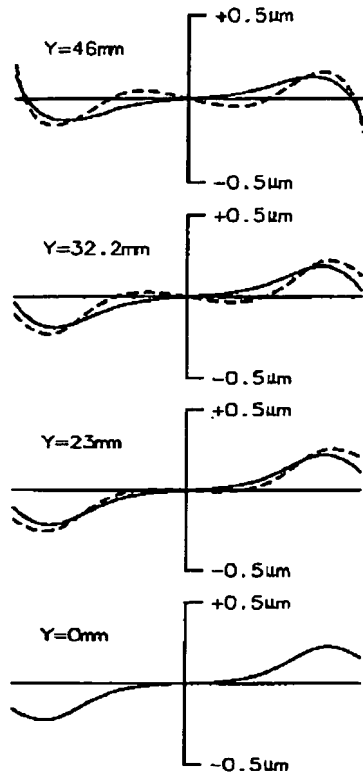
【図 7】



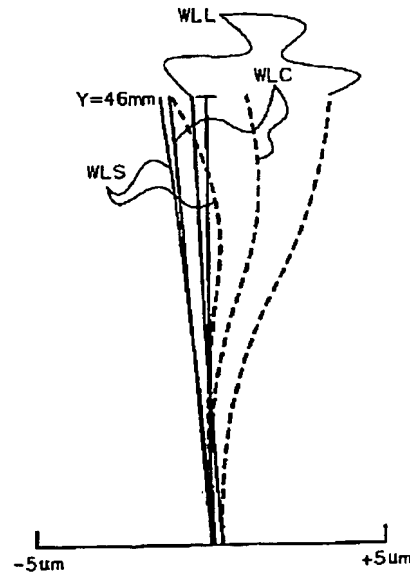
【図 12】



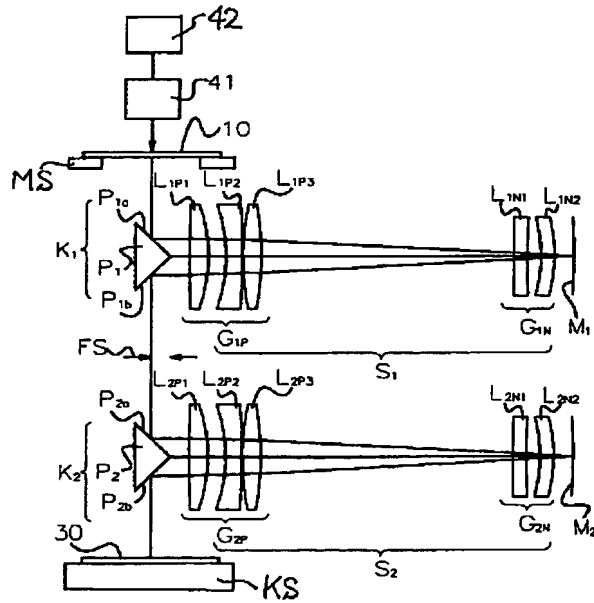
【図 9】



【図 10】



【図 11】



【図 13】

